



**Rui Assunção
Gamelas**

**Caracterização e monitorização para reabilitação da
sede da InovaDomus**



**Rui Assunção
Gamelas**

**Caracterização e monitorização para reabilitação da
sede da InovaDomus**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Associado com agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Alexandre Aníbal Meira Guimarães Costa
Professor Adjunto Convidado do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Professor Doutor Humberto Salazar Amorim Varum
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro (orientador)

agradecimentos

Findado o processo de escrita da dissertação e, visto que nada na vida se constrói sozinho, gostaria de aproveitar este espaço para agradecer a todos os que me acompanharam ao longo do meu percurso e contribuíram de alguma forma para a conclusão desta etapa, quer a nível pessoal como a nível científico.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Humberto Varum, pela oportunidade de fazer parte de um projeto tão aliciente assim como pelo apoio incondicional demonstrado. Em paralelo, gostaria de fazer referência a todo o conhecimento partilhado pelo mesmo, não só durante este trabalho, mas ao longo dos últimos cinco anos, tendo sido um pessoa preponderante na minha formação.

Ao meu coorientador, Professor Romeu Vicente, por todo o apoio e disponibilidade transmitidos durante a elaboração deste trabalho.

À InovaDomus, por todo o auxílio concedido, pela constante e total disponibilidade, bem como pelo interesse demonstrado no desenrolar deste trabalho.

À Doutora Catarina Fernandes, pela disponibilidade demonstrada e por todos os ensinamentos transmitidos.

Ao João Mário, colega e amigo que tive o prazer de conhecer no início deste longo percurso e com quem partilhei, não só conhecimento, mas também experiências de vida assim como ambições.

À Beatriz, *fidanzata* de longa data, por tudo!

Às minhas irmãs, Inês e Beatriz, pela cumplicidade, paciência e amizade.

Aos meus pais, António e Teresa, por todos os valores transmitidos, assim como por todo o amor, carinho e dedicação incondicionais. A vocês, um especial obrigado.

palavras-chave

Monitorização, Reabilitação, Caracterização estrutural, Construção tradicional, Ensaios

resumo

Na presente dissertação é apresentada a definição para conseqüente implementação de um sistema de monitorização que servirá como ferramenta de suporte à reabilitação num caso de estudo específico – casa de Santo António, localizada no centro de Ílhavo.

Para que o mesmo fosse apresentado de forma sustentada, foi realizada uma caracterização exaustiva do edifício, quer ao nível do seu comportamento estrutural quer ao nível das anomalias que este apresenta.

Foi também realizada uma análise dos desenhos arquitetónicos originais existentes, assim como de todas as evidências que permitissem obter informação acerca da conceção original do edifício. Este processo foi executado para que a Casa de Santo António seja reabilitada nesse sentido, concebendo-lhe a sua leitura original, no âmbito do projeto ReabilitaDomus.

São ainda apresentados uma série de ensaios que se revelaram como fundamentais, quer no processo de caracterização estrutural do edifício, quer no auxílio ao esclarecimento de dúvidas resultantes da análise das possíveis alterações sofridas pela casa ao longo do seu período de vida.

Em cada capítulo são apresentados os resultados obtidos com a respetiva caracterização, sendo que a presente dissertação culmina na apresentação do sistema de monitorização proposto.

keywords

Monitoring, Rehabilitation, Structural characterization, Traditional construction, Testing

abstract

Throughout this dissertation, I intend to present the definition for subsequent implementation of a monitorization system, intended to be used as a supporting tool to the rehabilitation in a specific study case – Saint Antonio's house, located in the centre of Ílhavo.

So that this study could be presented in a reliable way, a thorough description of the building, not only in terms of its structural behaviour but also anomalies, was accomplished.

A deep analysis of the original architectural drawings was also developed, as well as of all the evidence that could provide me with information about the very first frame of the building. This process aimed to make it possible for this house to be recovered according to its original matrix, according to the spirit of ReabilitaDomus.

I also present a set of experiments which proved to be crucial all over this process, both for the structural description of the building itself and the enlightenment of questions that arouse while analysing all the possible changes that have taken place all over the years.

In each chapter, I describe the attained results along with the specific characterisation, so that this dissertation ends up with the presentation of the planned monitorization system.

ÍNDICE GERAL

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Contextualização do caso de estudo	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. Enquadramento.....	5
2.1. Técnicas de monitorização no âmbito da monitorização.....	5
2.2. Sensores elétricos/óticos.....	6
2.2.1. Exemplos de utilização de sistemas de monitorização	7
2.2.2. Ensaios de caracterização estrutural/material	9
3. Enquadramento histórico da sede da InovaDomus	13
3.1. Localização no espaço e no tempo	13
3.2. Evolução física	16
3.2.1. Paredes de fachada.....	17
3.2.2. Paredes interiores.....	20
4. Interpretação do sistema estrutural.....	25
4.1. Fundações	25
4.2. Paredes.....	30
4.2.1. Material constituinte	32
4.2.2. Espessura	34
4.2.3. Descrição estrutural	34
4.3. Pavimento	37
4.3.1. Descrição estrutural	38
4.3.1.1. Vigas.....	38
4.3.1.2. Tarugos	44
4.3.1.3. Soalho	45
4.3.2. Materiais de revestimento.....	46
4.4. Cobertura	48
4.4.1. Descrição estrutural	49
4.4.1.1. Asnas	50
4.4.1.2. Madres	53
4.4.1.3. Barrotes de cobertura (varas).....	55
4.4.1.4. Ripas	59
5. Caracterização das anomalias observadas.....	61
5.1. Levantamento de anomalias	61
5.1.1. Piso 0	61
5.1.2. Piso 1	63
5.1.3. Piso 2	63

5.1.4.	Cobertura.....	64
5.1.5.	Exterior – Paredes de fachada	65
5.2.	Avaliação do estado de conservação.....	66
6.	Plano de caracterização e monitorização como suporte à reabilitação e futura manutenção	
	67	
6.1.	Ensaio gerais.....	68
6.2.	Ensaio de caracterização estrutural	72
6.3.	Ensaio de caracterização dos materiais estruturais.....	75
6.4.	Plano de monitorização	81
7.	Conclusões e trabalhos futuros	85
7.1.	Conclusões gerais.....	85
7.2.	Trabalhos futuros	87
8.	Referências bibliográficas	89

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 - Ensaio de carga sobre a ponte (Barbosa <i>et al.</i> , 2008).....	8
Ilustração 2 - Vista geral da ponte (Barbosa <i>et al.</i> , 2008)	8
Ilustração 3 - Interior da Igreja: arco-cruzeiro (Lima <i>et al.</i> , 2008)	9
Ilustração 4 - Fragilização do arco-cruzeiro e tímpano (Lima <i>et al.</i> , 2008).....	9
Ilustração 5 - Casa no seu estado atual	13
Ilustração 6 - Casa nos seus primórdios (ao fundo) (Ramalheira, s. d.).....	13
Ilustração 7 - Planta do piso térreo	15
Ilustração 8 - Planta do piso 1	15
Ilustração 9 - Planta do piso 2	15
Ilustração 10 – Alçado principal.....	16
Ilustração 11 – Alçado lateral esquerdo	16
Ilustração 12 - Alçado lateral direito	16
Ilustração 13 – Alçado posterior.....	16
Ilustração 14 - Alçado principal original.....	17
Ilustração 15 - Alçado principal atual.....	17
Ilustração 16 - Alçado lateral esquerdo original.....	18
Ilustração 17 – Alçado lateral esquerdo atual.....	18
Ilustração 18 – Fachada lateral direita.....	18
Ilustração 19 - Alçado lateral direito atual	18
Ilustração 20 - Fachada posterior.....	18
Ilustração 21 - Alçado posterior atual.....	18
Ilustração 22 – Planta atual da Casa de Santo António. Piso térreo	21
Ilustração 23 – Planta atual com alteração da fachada lateral esquerda pela original. Piso térreo.....	22
Ilustração 24 – Planta anterior à intervenção dos espaços comerciais. Piso térreo	23
Ilustração 25 – Planta com sobreposição das paredes interiores do piso 1. Piso térreo	23
Ilustração 26 - Planta original. Piso térreo	24
Ilustração 27 - Planta com representação de sondagens e respetivo levantamento fotográfico. Piso térreo	26
Ilustração 28 - Poço de inspeção 1 – Fotografia 1 na Ilustração 27	26
Ilustração 29 - Poço de inspeção 1 – Fotografia 2 na Ilustração 27.....	26
Ilustração 30 - Poço de inspeção 2 – Fotografia 3 na Ilustração 27	27
Ilustração 31 - Poço de inspeção 3 – Fotografia 4 na Ilustração 27	27
Ilustração 32 - Poço de inspeção 4 – Fotografia 5 na Ilustração 27	27
Ilustração 33 - Poço de inspeção 5 – Fotografia 6 na Ilustração 27	27
Ilustração 34 - Poço de inspeção 5 – Fotografia 7 na Ilustração 27	27
Ilustração 35 - Poço de inspeção 6 – Fotografia 8 na Ilustração 27	27
Ilustração 36 - Poço de inspeção 7 – Fotografia 9 na Ilustração 27	28
Ilustração 37 - Poço de inspeção 8 – Fotografia 10 na Ilustração 27	28
Ilustração 38 - Poço de inspeção 9 – Fotografia 11 na Ilustração 27	28
Ilustração 39 - Poço de inspeção 10 – Fotografia 12 na Ilustração 27	28
Ilustração 40 - Poço de inspeção 10 – Fotografia 13 na Ilustração 27	28
Ilustração 41 - Poço de inspeção 11 – Fotografia 14 na Ilustração 27	28
Ilustração 42 - Corte representativo da fundação de uma parede.....	29
Ilustração 43 – Planta com representação da estrutura do pavimento. Piso térreo.....	30

Ilustração 44 - Exemplo de um radargrama antes (acima) e após (abaixo) processamento (Barraca e Almeida, 2013)	31
Ilustração 45 - Mapa de materiais. Piso térreo	32
Ilustração 46 - Mapa de materiais. Piso 1	32
Ilustração 47 - Mapa de materiais. Piso 2	33
Ilustração 48 – Planta com sobreposição das paredes do piso 1. Piso térreo.....	35
Ilustração 49 - Planta com sobreposição das paredes interiores piso 2. Piso 1.....	35
Ilustração 50 – Reforço de betão envolvido por duas vigas de madeira no local da parede removida (local A – Ilustração 48)	36
Ilustração 51 – Representação da estrutura do pavimento. Piso 1	37
Ilustração 52 - Representação da estrutura do pavimento. Piso 2.....	38
Ilustração 53 – Entrega de uma viga numa parede interior do piso térreo.....	39
Ilustração 54 - Entrega de uma viga de piso na parede de fachada	40
Ilustração 55 - Entrega de uma viga de cobertura na parede de fachada	40
Ilustração 56 - Esquema estrutural da laje. Piso 1	41
Ilustração 57 - Esquema estrutural da laje. Piso 2	41
Ilustração 58 - Elementos estruturais originais em betão armado	42
Ilustração 59 - Corte representativo da ligação entre viga e pilar.....	42
Ilustração 60 - Elementos estruturais em betão armado colocados posteriormente	43
Ilustração 61 - Tarugo do pavimento do Piso 1	44
Ilustração 62 - Vista geral do soalho.....	45
Ilustração 63 - Mapa de materiais de revestimento. Piso térreo	46
Ilustração 64 - Mapa de materiais de revestimento. Piso 1	47
Ilustração 65 - Mapa de materiais de revestimento. Piso 2.....	47
Ilustração 66 - Planta de cobertura. Identificação da orientação e inclinação das pendentes..	48
Ilustração 67 - Corte AA' identificado na Ilustração 66	49
Ilustração 68 - Corte BB' identificado na Ilustração 66	49
Ilustração 69 - Esquema estrutural. Cobertura.....	50
Ilustração 70 - Asna de cobertura	50
Ilustração 71 – Identificação das asnas de cobertura	51
Ilustração 72 - Ligação por entalhe do tipo "dente simples anterior" (Cachim, 2007).....	52
Ilustração 73 - Ligação “dente anterior” entre asna e viga	52
Ilustração 74 - Vista geral da asna de cobertura	53
Ilustração 75 - Madre de cobertura	53
Ilustração 76 - Ligação entre a asna e madre	54
Ilustração 77 - Barrotes de cobertura	55
Ilustração 78 – Identificação dos barrotes de cobertura (varas).....	56
Ilustração 79 - Ligação por entalhe do tipo "dente simples posterior"	58
Ilustração 80 - Ligação “dente posterior” entre barrote de cobertura e frechal	58
Ilustração 81 - Ripas assentes nos barrotes de cobertura	59
Ilustração 82 - Fissuração ao nível da padieira no compartimento C3_0	62
Ilustração 83 - Fissura na ligação entre as paredes e o teto no compartimento C1_0	62
Ilustração 84 – Fissuração da parede que separa os compartimentos C8_0 e C9_0.....	62
Ilustração 85 – Fissura diagonal característica do piso 1 – C1_1	63
Ilustração 86 - Fissura diagonal característica do piso 1 – C2_1	63
Ilustração 87 - Fissuração ao nível da padieira no compartimento C1_2	64
Ilustração 88 - Fissuração generalizada do teto do compartimento C1_2	64
Ilustração 89 - Identificação das zonas inspecionadas na cobertura	64
Ilustração 90 – Ataques de insetos ocorridos numa viga da cobertura	65

Ilustração 91 - Identificação dos pontos de ensaio no piso 0	70
Ilustração 92 - Identificação dos pontos de ensaio no piso 1	70
Ilustração 93 - Identificação dos pontos de ensaio no piso 2	71
Ilustração 94 - Planta do piso térreo com representação de sondagens.....	73
Ilustração 95 – Identificação dos pontos de ensaio de avaliação de frequências com acelerómetro. Piso 1	74
Ilustração 96 - Identificação dos pontos de ensaio de avaliação de frequências com acelerómetro. Piso 2	74
Ilustração 97 - Identificação dos pontos de ensaio com Resistógrafo. Piso 1	77
Ilustração 98 - Identificação dos pontos de ensaio com Resistógrafo. Piso 2.....	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões das asnas de cobertura	51
Tabela 2 - Dimensões dos barrotes de cobertura	57
Tabela 3 – Tabela síntese do plano de caracterização e monitorização	83

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação incide na problemática da monitorização como ferramenta de suporte à reabilitação, um processo que visa o acompanhamento contínuo e fundamentado de danos estruturais em edifícios. A identificação dos diversos problemas de um determinado edifício resulta num conhecimento aprofundado aos mais diversos níveis, sendo determinante para o acompanhamento da construção numa fase mais avançada da reabilitação. O reconhecimento dos vários problemas estruturais é aliás fundamental para criar um plano de monitorização válido, sendo que o mesmo é imprescindível para compreender as consequências que cada fase do processo de reabilitação desempenha no comportamento estrutural do edifício.

O recurso a sistemas de monitorização é uma questão que tem vindo a ganhar maior relevância na atualidade, algo que resulta dos desafios cada vez maiores com que os diversos intervenientes do processo de construção civil são confrontados, também proporcionados por um desenvolvimento tecnológico contínuo.

Na verdade, foi esta importância gradual do tema da reabilitação no mundo da Engenharia civil que despertou o interesse pela realização de um estudo deste género, um estudo que conjugasse a reabilitação – e todos os processos a ela associados – ao desenvolvimento e aplicação de técnicas inovadoras nesta área. Por outro lado é extremamente desafiante estar continuamente em investigação, procurando novas formas de atuar, uma vez que quando se trata de edifícios já construídos, pode sempre existir um fator surpresa – quer nos materiais que o constituem, quer no seu comportamento face aos mais diversos estímulos.

De forma a que se compreenda melhor em que é que consiste este trabalho, serão apresentados os objetivos traçados assim como a contextualização do caso de estudo. Por último, proceder-se-á à descrição da estrutura da dissertação, esclarecendo detalhadamente quais os aspetos em análise em cada um dos capítulos abordados.

1.1. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento e aplicação de um plano de monitorização num edifício. Neste caso específico, o elemento do caso de estudo onde este plano de monitorização será instalado é uma habitação em pleno coração da cidade de Ílhavo. Esta construção, denominada de casa de Santo António, data da década de 30 do século XX,

tendo sido alvo de bastantes alterações – quer estéticas, quer estruturais – desde o momento em que foi construída até à data presente.

O propósito principal desta dissertação passa por dar um contributo no âmbito da área da reabilitação, apresentando uma proposta que se crê válida e rigorosa para o desenvolvimento de um processo de caracterização do edificado – tanto a nível estrutural como não estrutural. Esta proposta tem como finalidade a criação de um plano de monitorização sustentado e, conseqüentemente, demonstrar que a reabilitação se pode realizar de uma forma consciente e através de métodos não intrusivos.

1.2.Contextualização do caso de estudo

A Casa de Santo António foi adquirida pela empresa InovaDomus com vista a transformá-la na sede da sua associação, tendo surgido, conseqüentemente, o projeto ReabilitaDomus. O propósito deste projeto visa reabilitar o edificado, configurando-lhe um aspeto próximo do que teve outrora, através de soluções inovadoras que passam pela utilização de novos materiais, bem como pelo teste de técnicas recentes. A criação de um plano de monitorização do comportamento estrutural assume um papel fulcral no desenvolvimento do projeto, funcionando como um diagnóstico que permitirá obter todo o tipo de informações relativas ao comportamento do edificado. Todas estas informações vão servir, deste modo, como base de suporte a qualquer tipo de intervenção a que, num futuro próximo, a casa venha a ser sujeita.

No entanto, para a concretização deste objetivo primordial – definição e aplicação do plano de monitorização no edificado – é necessária a elaboração de objetivos de menor dimensão, dos quais fazem parte o estudo do sistema estrutural e respetivas alterações sofridas pelo mesmo ao longo do período de vida da estrutura, bem como o levantamento das patologias estruturais com vista a uma determinação dos principais parâmetros a medir e controlar. Com base nas patologias identificadas, serão definidos ensaios com vista à monitorização do edificado. Em paralelo, decorrerão ensaios que visam a caracterização do edifício, quer de uma forma geral estudando o seu comportamento estrutural, quer ao nível dos próprios materiais estruturais. Estes ensaios serão realizados com o auxílio de sensores que medirão parâmetros como humidade e temperatura, deslocamento relativo, acelerações, presença de fissuras, variação da abertura de fissuras, bem como módulo de rigidez, tensão, deformabilidade e densidade do material estrutural.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação pretende apresentar todo o processo desenvolvido que culminou na concretização do principal objetivo ao qual me propus - definição e aplicação do plano de monitorização no edificado.

Deste modo, a mesma encontra-se dividida em sete partes distintas. No primeiro capítulo será apresentada a introdução da presente dissertação, onde se inserem as motivações, objetivos, a contextualização particular do caso de estudo, bem como a estrutura da mesma. No segundo capítulo é feito um enquadramento da presente dissertação no contexto atual da área da reabilitação, apresentando estudos críticos que se debruçam sobre técnicas de monitorização, bem como questões relacionadas com a aplicação de sensores elétricos/óticos na Engenharia civil. Ao mesmo tempo, pretende-se cativar a atenção para os temas que dizem respeito à reabilitação e para a importância atual do desenvolvimento de planos de monitorização que permitem acompanhar e auxiliar os projetos na área da Engenharia civil.

Os terceiro, quarto, quinto e sexto capítulos referem-se ao trabalho desenvolvido *in situ*. Numa primeira fase – terceiro capítulo – é feita uma contextualização histórica do edifício, bem como a apresentação de um flashback, cuja finalidade é obter a “imagem” original da Casa de Santo António. O quarto capítulo descreve o comportamento estrutural do edifício em estudo, com base em inspeções previamente efetuadas, enquanto que no quinto capítulo é feita, de forma sucinta, a descrição do levantamento de patologias realizado, tornando possível a caracterização do estado global do edifício e evidenciando quais as anomalias que irão condicionar o sistema de monitorização previsto. Por último, no sexto capítulo, é apresentado o plano de monitorização a implementar, como resultado de um processo de conhecimento adquirido e exposto ao longo dos capítulos anteriores.

Finalizarei esta dissertação com o sétimo capítulo, dedicado às considerações finais bem como quais os trabalhos que virão a ser desenvolvidos *in loco* no âmbito deste projeto, seguido do oitavo capítulo onde indico todas as referências bibliográficas que suportaram o conhecimento aqui exposto.

2. ENQUADRAMENTO

Face aos desafios cada vez mais arrojados com que os projetistas são confrontados hoje em dia, em simultâneo com um desenvolvimento tecnológico que tende a harmonizar-se cada vez mais com o que se faz nesta área, impõe-se uma nova abordagem na construção de estruturas, sobretudo nas de maior dimensão, tais como pontes, túneis, viadutos, entre outros. Este contexto de permanente transformação implica um maior recurso a sistemas de monitorização.

Estes sistemas têm como base a instalação de sensores (elétricos ou óticos) que, estando associados a um sistema de gestão de dados, transmitem informação importante, numa forma contínua, relacionada com o estado de conservação e segurança da estrutura.

A implementação de sistemas de monitorização pode ocorrer quer durante a fase de construção, quer durante a fase de exploração, trazendo uma maior economia de soluções, garantia de durabilidade e garantia de segurança estrutural.

Todos estes fatores resultarão num aumento do período de exploração, bem como numa maior qualidade e eficiência económica, o que contribui para a elaboração de um excelente *business case*.

Outra área da construção onde a implementação de sistemas de monitorização começa a ser vista como preponderante é a área da reabilitação, onde os resultados provenientes da monitorização têm tendência para condicionar qualquer tipo de intervenção a realizar.

O grande objetivo dos sistemas de monitorização passa assim pela identificação de eventuais danos estruturais existentes no edificado e consequente monitorização da sua evolução, com o intuito de obter um conhecimento, o mais pormenorizado possível, do comportamento estrutural do edificado (Antunes, 2011).

2.1. Técnicas de monitorização no âmbito da monitorização

No âmbito da reabilitação do edificado as técnicas de monitorização geralmente utilizadas inserem-se nas categorias SHM e MHM:

- SHM (Structural health monitoring);
- MHM (Material health monitoring);

A monitorização do tipo SHM tem como objetivo a observação do comportamento estrutural *in situ*, através da contínua medição de vários parâmetros como tensões,

deslocamentos relativos, acelerações, presença de fissuras e variação da sua abertura, humidade e temperatura (Antunes, 2011).

Os ensaios realizados, como acelerómetros ou sensores óticos de controlo de abertura de fissuras, visam avaliar a resposta da estrutura sob diferentes situações de carga, assim como a deterioração das propriedades dos materiais estruturais.

A duração desta técnica de monitorização depende dos parâmetros que se pretendem medir, podendo ocorrer durante um período de tempo pré-estabelecido ou mesmo durante o período de vida útil da estrutura.

O desenvolvimento desta técnica será fundamental para identificar danos estruturais e monitorizar a sua evolução.

Por seu lado, a monitorização da integridade material (MHM) tem como objetivo a avaliação e caracterização das propriedades dos materiais, através de ensaios que medem o módulo de rigidez, tensão, deformabilidade, densidade do material estrutural e consequente influência na durabilidade das estruturas (Jayant, 2008).

Em termos comparativos com a SHM, esta abordagem requer um maior número de sensores.

2.2.Sensores elétricos/óticos

Como referido anteriormente, a implementação de um sistema de monitorização implica recorrer à instalação de sensores que, ao estarem incorporados nas estruturas, permitem acompanhar as grandezas medidas bem como detetar instantaneamente qualquer problema de instabilidade que eventualmente ocorra.

A monitorização de estruturas assenta sobretudo na utilização de dois tipos de sensores – elétricos (extensómetros de resistência, extensómetros de corda vibrante, LVDT's, termopares, piezoelétricos, etc...) e óticos – sendo que o segundo tipo de sensores é uma tecnologia recente que apresenta várias vantagens relativamente ao primeiro tipo de sensores, das quais se destacam (Valente e Brandão, 2006):

- Boa resistência a agressões ambientais;
- Imunidade a interferências eletromagnéticas, evitando assim ruído indesejável;
- Possibilidade de monitorização durante o período de vida útil da estrutura, face à boa estabilidade a longo prazo;
- Possível instalação permanente em estruturas, face ao reduzido peso e dimensões;

- Flexibilidade de adaptação a geometrias difíceis;
- Elevada sensibilidade;
- Monitorização remota;
- Impercetibilidade visual;
- Manutenção quase desnecessária.

Apesar de todas estas vantagens, é necessário ter em conta certos cuidados na utilização deste tipo de sensores (Araújo, 2000).

- Ao ser embebido na estrutura, o sensor de fibra ótica deve conseguir, duma forma precisa e fiável, identificar modificações na mesma ao longo do período de vida útil da estrutura. No entanto, há que ter em linha de conta que os materiais são bastante suscetíveis a ações de elementos presentes no meio ambiente, que poderão condicionar o comportamento dos sensores;
- Pelo facto do processo produtivo das estruturas de Engenharia Civil estar ainda pouco automatizado, durante a fase de construção devem ser tomadas as medidas adequadas com vista a assegurar que os sensores estejam suficientemente protegidos das ações dos operários, máquinas, agentes ambientais, etc...;
- Terminada a fase de construção, os pontos de entrada e saída das fibras óticas devem ser tratados com muito cuidado, visto tratarem-se dos pontos mais críticos.

2.2.1. Exemplos de utilização de sistemas de monitorização

Os sistemas de monitorização, como referido anteriormente, têm vindo a representar um papel cada vez mais importante na área da construção civil, com vista à identificação de danos estruturais e respetiva monitorização da sua evolução. Deste modo, foram escolhidos dois exemplos de aplicação de sistemas de monitorização, ambos estruturas consideradas como referências na cidade de Aveiro, tendo estado o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro envolvido em ambos.

1. Monitorização de uma ponte pedonal construída em aço (Ilustração 1 e Ilustração 2) (Barbosa *et al.*, 2008):

Esta ponte, localizada na zona da Beira-mar, sobre o canal de São Roque, foi submetida a um sistema de monitorização com vista à caracterização estrutural da mesma. Para tal, a ponte foi submetida a um ciclo de cargas e também a uma rede de sensores (soldados à estrutura) que visaram medir parâmetros considerados como importantes em estruturas de aço, como a tensão e a temperatura, durante a fase de serviço.



Ilustração 1 - Ensaio de carga sobre a ponte (Barbosa *et al.*, 2008)



Ilustração 2 - Vista geral da ponte (Barbosa *et al.*, 2008)

2. Monitorização do arco da Igreja da Santa Casa da Misericórdia (Ilustração 3 e Ilustração 4) (Lima *et al.*, 2008):

Monitorização estrutural com baixo impacto visual sobre um edifício histórico. Como se trata de um ponto turístico da cidade, o facto dos sensores aplicados serem praticamente invisíveis assume uma importância elevada. Foi previamente definido um caminho crítico, resultado do levantamento dos danos existentes no arco. Como consequência do caminho crítico foram instalados sensores com vista à medição da abertura de fendas e escorregamento de pedras. Simultaneamente, foram instalados cinco sensores de temperatura, dispostos estrategicamente, com vista a registar a variação da temperatura ao longo do processo de monitorização.



Ilustração 3 - Interior da Igreja: arco-cruzeiro (Lima *et al.*, 2008)

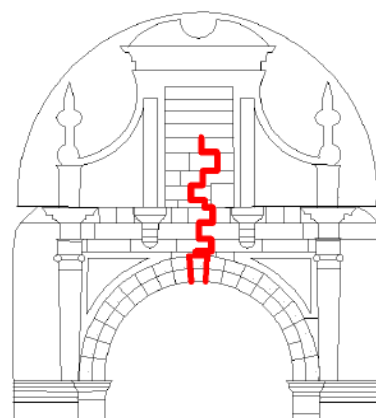


Ilustração 4 - Fragilização do arco-cruzeiro e tímpano (Lima *et al.*, 2008)

2.2.2. Ensaios de caracterização estrutural/material

A realização de ensaios para caracterização dos materiais ou componentes estruturais pode ser considerada como um meio auxiliar no diagnóstico estrutural, trabalhando em paralelo com as técnicas de monitorização anteriormente referidas e permitindo assim obter mais informação acerca da construção que se pretende analisar. O recurso a estes ensaios resulta quer na obtenção de uma análise mais detalhada de um material ou componente estrutural, quer na caracterização das propriedades mecânicas bem como das propriedades físicas e químicas do edificado.

As técnicas de ensaio usualmente utilizadas nas estruturas existentes podem ser classificadas como (Arêde e Costa, 2002):

- Destrutivas;
- Ligeiramente destrutivas;
- Não-destrutivas.

Uma vez que esta dissertação se enquadra na área da reabilitação, serão abordadas somente as técnicas de ensaios não-destrutivos, visto ser este o tipo de ensaios menos intrusivo e por isso o preferível com vista à preservação do património.

Os ensaios não-destrutivos caracterizam-se por serem ensaios que não necessitam de realizar ações invasivas na estrutura para obter resultados, sendo que os mesmos são geralmente do tipo qualitativo. Este tipo de ensaios pode ser útil nas seguintes situações (Binda e Saisi, 2001):

- Detecção de elementos estruturais ocultos tais como: pilares, arcos, estruturas de pisos intermédios, etc...;
- Qualificação dos materiais e caracterização das zonas de heterogeneidade dos mesmos;
- Avaliação da extensão dos danos mecânicos em estruturas fissuradas;
- Detecção de vazios e cavidades;
- Detecção de degradação superficial;
- Avaliação de algumas propriedades físicas dos materiais.

A seguir é feita uma breve descrição das técnicas de ensaios não-destrutivos mais comuns para determinar as propriedades estruturais, nomeadamente: ensaios sínicos, tomografia sínica, ensaios de radar e ensaios dinâmicos.

Ensaio sínicos

Um impulso ultra-sónico ou sonoro é gerado num qualquer ponto da estrutura, sendo o sinal captado por um recetor. A medição do tempo que o impulso leva a percorrer um dado material ao longo duma distância conhecida permite obter a velocidade de propagação do material. Desta forma, a existência de vazios ou descontinuidades no material será identificada, visto que o tempo de propagação aumentará nestas situações. É uma técnica que se adequa a estruturas contínuas com elevada homogeneidade.

Com esta técnica é possível obter as seguintes informações (Arêde e Costa, 2002):

- Estimativa do módulo de elasticidade e resistência à compressão, através de correlações empíricas com a velocidade de propagação das ondas sínicas – direcionado a elementos de betão armado;
- Homogeneidade das características dos materiais constituintes;
- Presença de fendas no material contínuo;
- Presença e efeitos de anteriores reforços.

Tomografia sínica

Tem como base a técnica anterior, diferindo somente no facto de ser mais elaborada no processamento e análise dos resultados da propagação das ondas sínicas, resultando na criação de um mapa detalhado da distribuição da velocidade do som numa determinada secção plana da estrutura. É uma técnica que tem vindo a ser cada vez mais usada na análise

de estruturas antigas, com elevado valor histórico, como é disso exemplo a Basílica de S. Marcos, em Veneza.

Ensaio de radar

Permite o reconhecimento das superfícies de separação entre os vários materiais, com diferentes características, constituintes dum dado elemento estrutural (por exemplo paredes). Através deste método é possível identificar alterações nos materiais constituintes da estrutura, sendo assim possível detetar juntas, defeitos ou cavidades na alvenaria, estruturas ocultas, entre outros.

Ensaio dinâmico

Técnica com bastante utilidade e com cada vez maior utilização na caracterização do comportamento estrutural e integridade da construção. Basicamente, esta técnica consiste na medição das frequências próprias de vibração da estrutura, podendo este parâmetro ser medido numa forma contínua ao longo do período de vida útil da estrutura. Face à relação entre a frequência e a rigidez - uma diminuição de rigidez corresponde a uma diminuição de frequência - é perceptível que este método permite estabelecer um controlo indireto da rigidez, desde que a massa se mantenha inalterada.

Podem ser destacados dois tipos de procedimentos na utilização desta técnica (Arêde e Costa, 2002):

- **Medições de vibração ambiental:** A resposta dinâmica da estrutura advém de uma solicitação habitual, como o vento ou o tráfego urbano. Esta resposta é então obtida através da medição de acelerações por meio de sensores colocados em posições previamente definidas.
- **Medições de vibração forçada:** Ao contrário do primeiro procedimento e, como o próprio nome indica, a resposta dinâmica da estrutura advém de uma solicitação forçada. No entanto, é de referir que a solicitação provocada é de baixa intensidade, de modo a que a mesma não afete a integridade da estrutura.

Em termos de tratamento de resultados, os dois procedimentos são idênticos. Os sinais obtidos são numericamente tratados e analisados em termos de amplitude e conteúdo de frequência. Para tal, é necessário recorrer à análise espectral, possibilitando assim a determinação das características dinâmicas da estrutura, desde as suas frequências aos modos de vibração e amortecimento natural.

Esta técnica tem como senão o facto de apresentar um custo bastante elevado, resultante da necessidade de recurso a equipamentos sensíveis.

Face à elevada importância e utilidade apresentadas, tem vindo a ser cada vez mais habitual o recurso a esta técnica, resultando numa redução do custo do equipamento necessário para a sua realização. Como tal, apresenta-se como uma técnica de elevado potencial e com excelentes provas dadas no domínio da análise estrutural e caracterização do comportamento estrutural (Almeida, 2000).

3. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DA SEDE DA INOVADOMUS

O presente capítulo visa, tal como o nome indica, estabelecer um enquadramento histórico do edifício. Desta forma, o mesmo encontra-se dividido em dois subcapítulos: numa primeira abordagem é feita uma contextualização histórica da Casa de Santo António com o intuito de a localizar no espaço e no tempo. Seguidamente, pretende-se criar uma reconstituição do edificado na sua versão original, recorrendo para isso a documentos originais, que serão contrapostos ao desenho atual da casa.

3.1. Localização no espaço e no tempo

O presente subcapítulo prende-se com a contextualização história do caso de estudo desta dissertação – denominada por “Casa de Santo António”. Localizada no coração da cidade de Ílhavo, esta peça de arquitetura desenha a viragem entre a Rua de Santo António e a Avenida 25 de Abril. A cidade de Ílhavo, cheia de história e costumes, sempre primou por apresentar belos exemplos da arquitetura que se fazia em Portugal, e esta casa não foi exceção. Na Ilustração 5 e Ilustração 6 é apresentado o presente caso de estudo, em duas fases distintas da sua vida (atualmente e nos seus primórdios).



Ilustração 5 - Casa no seu estado atual



Ilustração 6 - Casa nos seus primórdios (ao fundo) (Ramalheira, s. d.)

A sua fachada principal é um elegante elemento arquitetónico. A colunata disposta simetricamente faz o limite interior/externo a Noroeste em simultâneo com o torreão que, excepcionalmente bem desenhado, avança um piso em altura e indica os lugares mais nobres da casa. A sua fachada lateral esquerda é mais um exemplo do desenho cuidado, não sendo

apenas vãos rasgados na parede. Todas as aberturas, à exceção das do piso térreo que foram consequência de uma intervenção posterior, apresentam molduras, circunscrevendo esses mesmos vãos.

Datada da década de 30 do século XX, esta casa que em tempos foi o lar de uma família, é agora o caso de estudo do presente trabalho e sede da Associação InovaDomus. Esta associação é constituída pela Universidade de Aveiro e por dez empresas do sector da construção e, em Julho de 2012, adquiriu a casa de Santo António para que fosse palco do projeto ReabilitaDomus. Este projeto consiste numa abordagem inovadora em termos de intervenção e monitorização. Transformando a casa de Santo António no principal laboratório, o seu objetivo é entrar no campo da experimentação no que diz respeito às boas práticas da reabilitação. Este caso pretende, com isto, expor soluções que incentivem os processos de reabilitação.

A casa de Santo António é composta por dois pisos e um sótão, por onde se distribuem 450 m² de área, sendo que os dois primeiros pisos têm uma área semelhante e visivelmente superior à do sótão. Toda a casa tem uma leitura semelhante no seu interior no que diz respeito aos materiais estruturais utilizados, sendo possível distinguir apenas quatro – a alvenaria de tijolo, a madeira, o betão e o aço.

Atualmente a casa apresenta dois acessos ao seu interior – um principal na fachada frontal, junto ao torreão; o outro é feito através do portão que se encontra recuado da fachada principal.

O piso térreo foi o que mais alterações sofreu ao longo do período de vida da casa, e é pelo interior deste que se faz agora o acesso principal da mesma. Apesar da porta de entrada pertencer à fachada principal, o momento em que se entra no interior do edifício é já na fachada lateral direita. Uma pequena abertura, com um espaço de receção conduz-nos para o bloco de escadas que conecta os três pisos. No piso térreo encontram-se ainda os dois espaços de comércio criados posteriormente, fazendo frente para a Avenida 25 de Abril e para a Rua de Santo António. Os restantes nove compartimentos são de dimensões menores e funcionam como pequenos espaços que sustentam o funcionamento do respetivo espaço comercial.

O acesso secundário, que se faz por umas escadas exteriores nas traseiras, transformam a marquise no segundo espaço interior de receção da casa. Este espaço conduz os utilizadores ao corredor central que funciona como eixo da casa e distribui os restantes compartimentos – cozinha, bloco de acessos verticais, corredor, hall inicial e mais cinco salas.

O último piso é composto apenas por quatro compartimentos, cujo principal - e que apresenta o pé-direito total - é o que se encontra no torreão. Todos os outros têm pé-direito

inferior e dão acesso a partes da cobertura. Da Ilustração 7 à Ilustração 13 são apresentadas todas as peças de arquitetura relativas à casa de Santo António, conseguidas através de um levantamento recente e cedidas pela empresa DUPLANO, sendo que as mesmas foram essenciais no desenvolvimento do meu trabalho, de forma a apresentar todos os exercícios efetuados. Para que a leitura destes desenhos seja simplificada, todos os desenhos relativos ao corte horizontal (planta) sofreram uma rotação, e por esta razão a orientação que é aplicada a todos os desenhos apresentados neste trabalho é a seguinte:

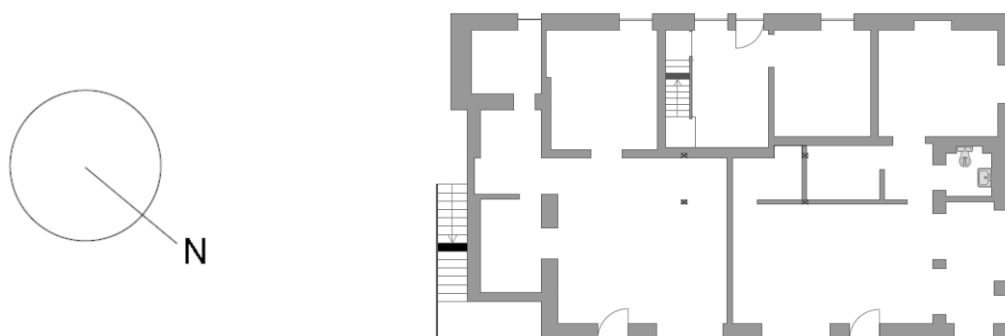


Ilustração 7 - Planta do piso térreo

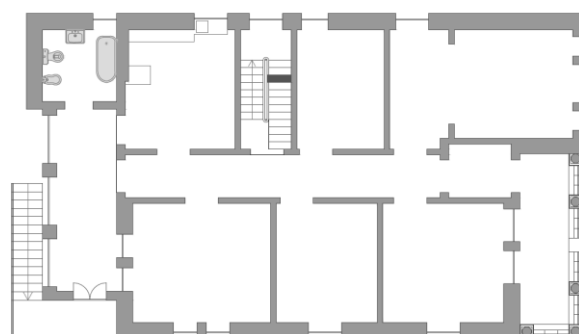


Ilustração 8 - Planta do piso 1

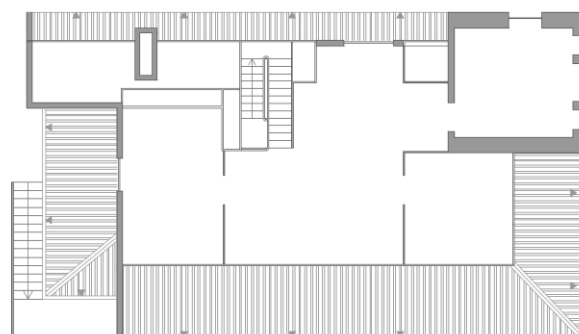


Ilustração 9 - Planta do piso 2



Ilustração 10 – Alçado principal



Ilustração 11 – Alçado lateral esquerdo

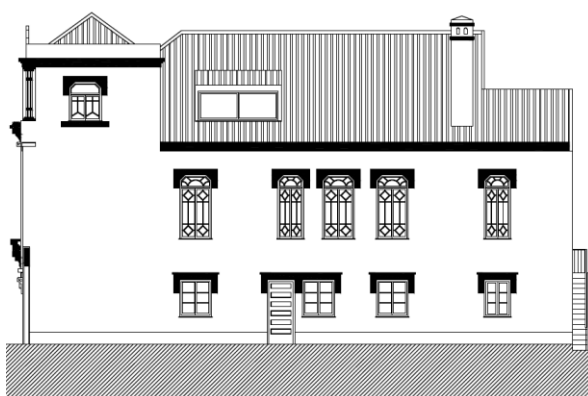


Ilustração 12 - Alçado lateral direito



Ilustração 13 – Alçado posterior

3.2.Evolução física

O projeto da InovaDomus tem como objetivo reabilitar o edificado configurando-lhe um aspeto semelhante ao que teve outrora através de soluções inovadoras que passam pela aplicação de novos materiais, bem como pela utilização de técnicas recentes.

Face à falta de informação que permite ter uma noção exata do aspeto da casa aquando da sua construção, tornou-se fulcral realizar uma inspeção exaustiva à mesma, de forma a compreender o seu comportamento enquanto estrutura e, conseqüentemente, obter conclusões acerca da sua composição original.

Relativamente às alterações às quais a casa foi sujeita, as mesmas serão descritas ao longo deste subcapítulo. No entanto, é importante referir, *a priori*, que se acredita que as mesmas terão ocorrido como resultado da criação de espaços comerciais no piso térreo e, como tal, terão ocorrido todas praticamente na mesma época. Estas mesmas alterações tiveram uma influência significativa na leitura original da casa, tendo alterado por completo a disposição dos compartimentos ao nível do piso térreo.

Desta forma, o presente subcapítulo descreverá a evolução da Casa de Santo António ao longo do tempo, através do método empírico e com o auxílio de desenhos originais.

3.2.1. Paredes de fachada

O ponto de partida desta análise foi a comparação dos desenhos dos alçados originais e atuais das mesmas fachadas, de forma a enumerar todas as alterações verificadas, bem como entender de que forma essas intervenções foram conduzidas. No entanto, este exercício só foi possível em relação às fachadas principal e lateral esquerda, visto serem as únicas a possuir desenhos originais correspondentes. Como tal, a decomposição dos restantes alçados foi suportada por uma análise visual exaustiva, auxiliada pelos desenhos originais das diferentes fachadas com o intuito de entender as semelhanças existentes e em que pontos é que estas foram adulteradas. Da Ilustração 14 à Ilustração 21 são apresentados os elementos que serviram de auxílio à presente análise:

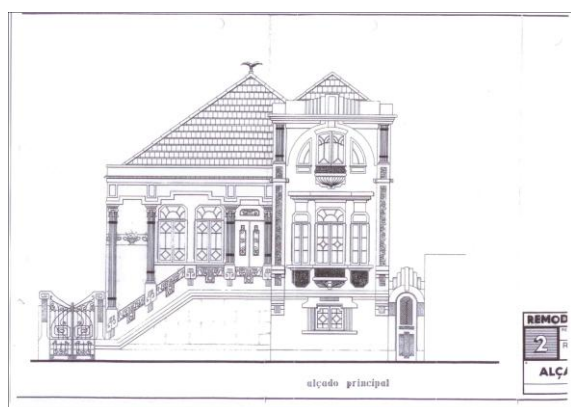


Ilustração 14 - Alçado principal original



Ilustração 15 - Alçado principal atual



Ilustração 16 - Alçado lateral esquerdo original

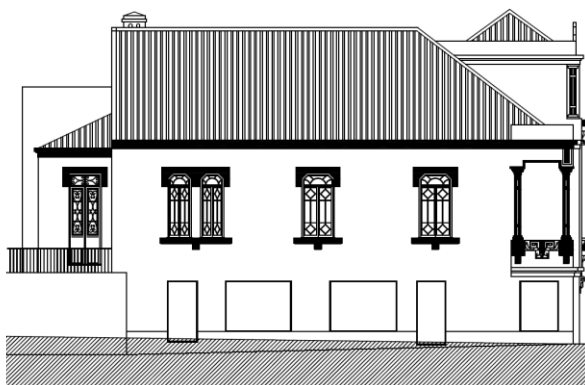


Ilustração 17 – Alçado lateral esquerdo atual



Ilustração 18 – Fachada lateral direita



Ilustração 19 - Alçado lateral direito atual



Ilustração 20 - Fachada posterior

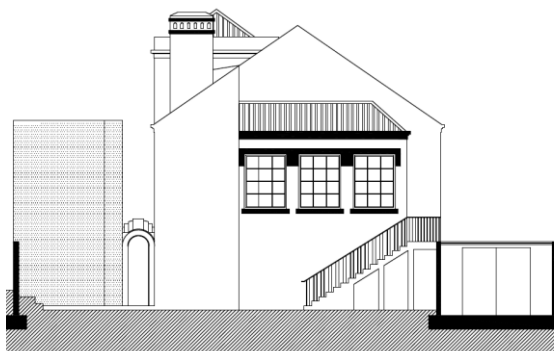


Ilustração 21 - Alçado posterior atual

Relativamente ao alçado principal e aquando da comparação entre o desenho original e atual é clara a alteração – e única - que surge ao nível do piso térreo (Ilustração 14 e Ilustração 15). A fachada original apresenta uma escada - atualmente omitida - tendo esse espaço sido aproveitado para aumentar o compartimento C9_0.

A fachada em questão apresenta quatro pilares. No desenho original (Ilustração 14) foi identificado o prolongamento do primeiro pilar (pilar da esquerda) praticamente até à cota 0, ao mesmo tempo que o segundo pilar continua até meio das escadas. Pela imponência que apresentam, aliado ao facto de no topo das mesmas existir uma porta ornamentada, bem como um azulejo com a imagem de um santo (o mesmo que atribui designação oficial à casa), conclui-se que o acesso principal para a casa se fazia por estas escadas. Em confronto com o desenho da conceção atual, conseguimos confirmar esta modificação, pois esses quatro pilares têm agora início à mesma cota. Face a esta alteração torna-se importante esclarecer o que sucedeu nos dois pilares após a intervenção – terão sido tapados ou removidos? É com o objetivo de responder a esta questão que foi proposta e encontra-se prevista a realização de uma bateria de ensaios (prospecção geofísica por georradar e pacómetro) que permitam caracterizar estes elementos.

Por último, ao que este alçado diz respeito, é importante referir que inicialmente o portão (à esquerda na Ilustração 14) se encontrava alinhado com a fachada principal, tendo sido posteriormente recuado como consequência das alterações que a casa sofreu aquando da criação dos espaços comerciais no piso térreo. Esta alteração permitiu assim a entrada nos respetivos espaços. – Gostaria de salientar, contudo, que esta é uma informação que não está fatada, apenas foi fornecida pelo antigo proprietário da casa.

Relativamente ao alçado lateral esquerdo, é visível que as alterações ocorridas se verificam ao nível do piso térreo, tal como no alçado principal, sendo que tal se deve ao facto das alterações resultarem da mesma intervenção – criação dos espaços comerciais. Originalmente, ao nível do piso térreo, a fachada apresentava duas janelas e uma porta, estando as mesmas alinhadas com as aberturas existentes no piso 1, enquanto atualmente a fachada se encontra totalmente alterada, apresentando cinco vãos simples, isentos de qualquer ornamentação – três janelas e duas portas.

Uma outra alteração nesta fachada foi a omissão da primeira janela do lado esquerdo ao nível do piso térreo. No lugar que é agora a garagem são visíveis os limites da janela original, tendo sido utilizado um material de enchimento a fim de ocultar esta mesma abertura.

Ao analisar a fachada lateral direita são observáveis algumas transformações. No entanto, não é possível enumerar claramente as mesmas, como foi feito nas duas fachadas anteriores, pelo facto referido já anteriormente – não existe alçado original da mesma.

Desta forma, foi feita uma análise a partir da informação disponível e através do método empírico. Em primeiro lugar, em relação ao piso 1 e, sabendo de antemão que o mesmo não foi submetido a alterações, esta análise resume-se a comprovar que este facto se espelha no pano exterior, sendo que todas as aberturas apresentam a mesma ornamentação (Ilustração 19), idêntica à ornamentação visível no desenho do alçado original da fachada oposta (lateral esquerda).

Relativamente ao piso térreo, é possível afirmar que ocorreu a supressão de uma abertura. Este facto é confirmado por serem visíveis os limites da mesma na fachada, pelo facto desses limites apresentarem dimensões semelhantes às restantes aberturas, e por essa mesma abertura ser visível no interior do edifício, no compartimento C1_0. Com vista a esclarecer esta questão, será realizada uma prospeção geofísica com georradar, aquando da caracterização dos pilares da fachada principal.

Existe ainda outro indício de alteração na fachada, sendo que uma das aberturas existentes apresenta uma ornamentação diferente das restantes, surgindo a hipótese da mesma ter sido realizada posteriormente. No entanto, por não ser possível confirmar veementemente esta possível modificação, a mesma será certificada em futuros ensaios/trabalhos a realizar na casa.

Por último, a análise à fachada posterior é claramente a mais custosa - fachada com desenho pobre, com uma leitura bastante distinta das restantes fachadas, onde a ausência de elementos comuns é intrigante. Ainda assim, é possível estabelecer uma relação entre as aberturas existentes e as originais dos pisos térreos. Estas apresentam algumas semelhanças ornamentativas – pobres/menos trabalhadas, indiciando que esta fachada não foi submetida a quaisquer alterações – excepto num ponto em que foi omitida uma abertura. A questão acerca da omissão da abertura surgiu aquando da análise da planta do piso térreo, tendo sido posteriormente confirmada através de uma inspeção visual.

3.2.2. Paredes interiores

No presente subcapítulo irão ser expostas todas as alterações às quais a casa foi submetida, fazendo uma regressão desde o desenho da planta atual até ao desenho da planta original, ao que ao nível das paredes interiores diz respeito.

No entanto, tendo em conta que somente o piso 0 foi alvo de intervenções, tal como referido anteriormente, assume-se que as paredes interiores dos pisos 1 e 2 se tenham mantido inalteradas desde a construção do edificado e, conseqüentemente, a composição do piso 1 se apresente como sendo a original.

Em jeito introdutório, e para conseguir uma seqüência clara das alterações efetuadas ao longo dos tempos nas paredes interiores do edificado, segue abaixo o desenho da planta do mesmo ao nível do piso térreo em duas fases distintas. A Ilustração 22 refere-se ao desenho da planta atual, seguida da Ilustração 23 que representa uma alteração na fachada lateral esquerda pelo desenho da original, uma vez que é certo que esta tenha sofrido transformações.

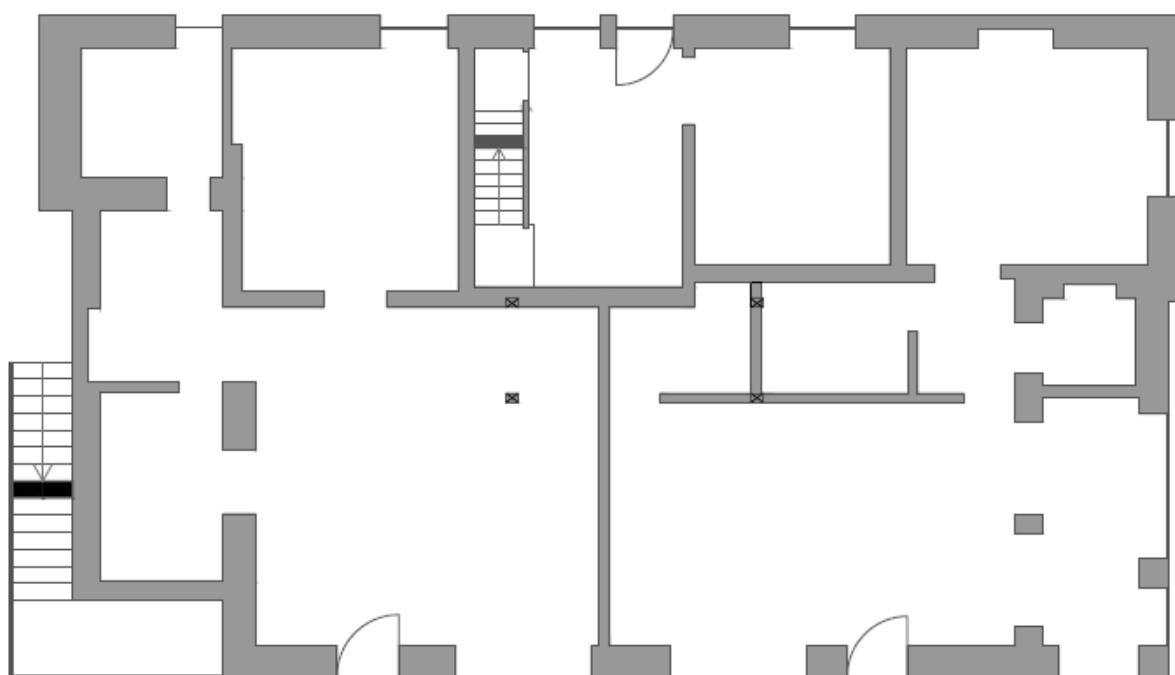


Ilustração 22 – Planta atual da Casa de Santo António. Piso térreo

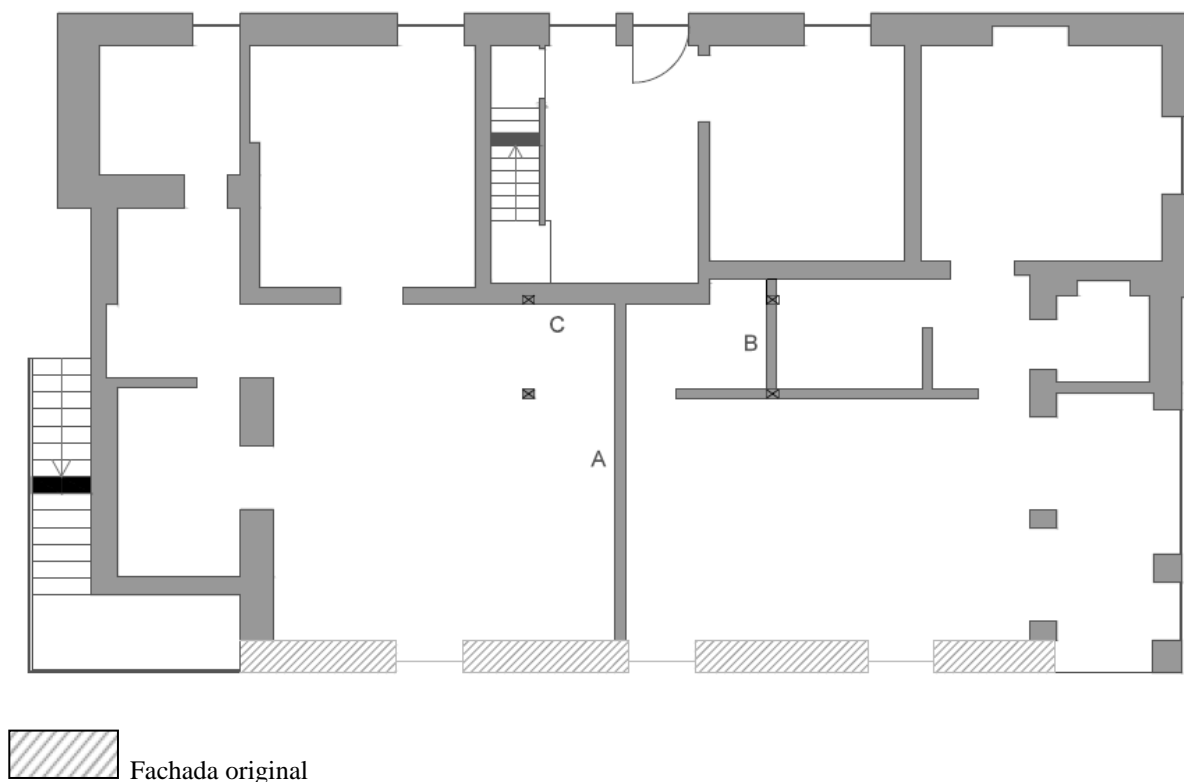


Ilustração 23 – Planta atual com alteração da fachada lateral esquerda pela original. Piso térreo

Na ilustração anterior (Ilustração 23) verifica-se uma discrepância entre o desenho da fachada original e a parede interior (A) que nela encosta. Este facto comprova que esta apenas foi erguida aquando da intervenção efetuada para a criação dos espaços comerciais.

Desta forma, na Ilustração 24 apresenta-se o desenho da planta – do nível do piso térreo - da casa antes das alterações efetuadas para criação destes mesmos espaços. As paredes A, B e C (Ilustração 23) ainda não tinham sido erguidas – facto comprovado devido ao material utilizado nas mesmas remeter para uma época mais recente do que a original. Por outro lado, o desenho da planta original apresenta as paredes D e E, que encaixam perfeitamente no desenho, também original, da fachada lateral esquerda, tendo sido mais tarde removidas na mesma intervenção.

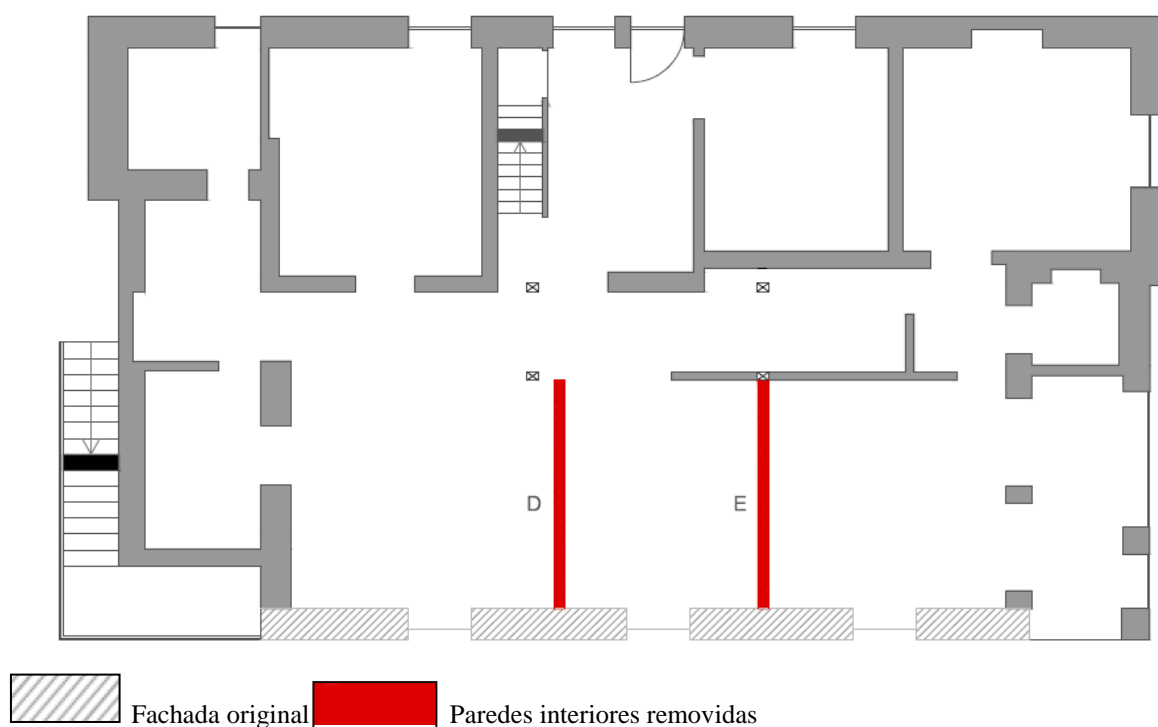


Ilustração 24 – Planta anterior à intervenção dos espaços comerciais. Piso térreo

Tal como foi dito anteriormente, o piso 1 não foi alvo de intervenções, pelo que a ilustração seguinte apresenta a planta anterior com a sobreposição das paredes do piso 1.

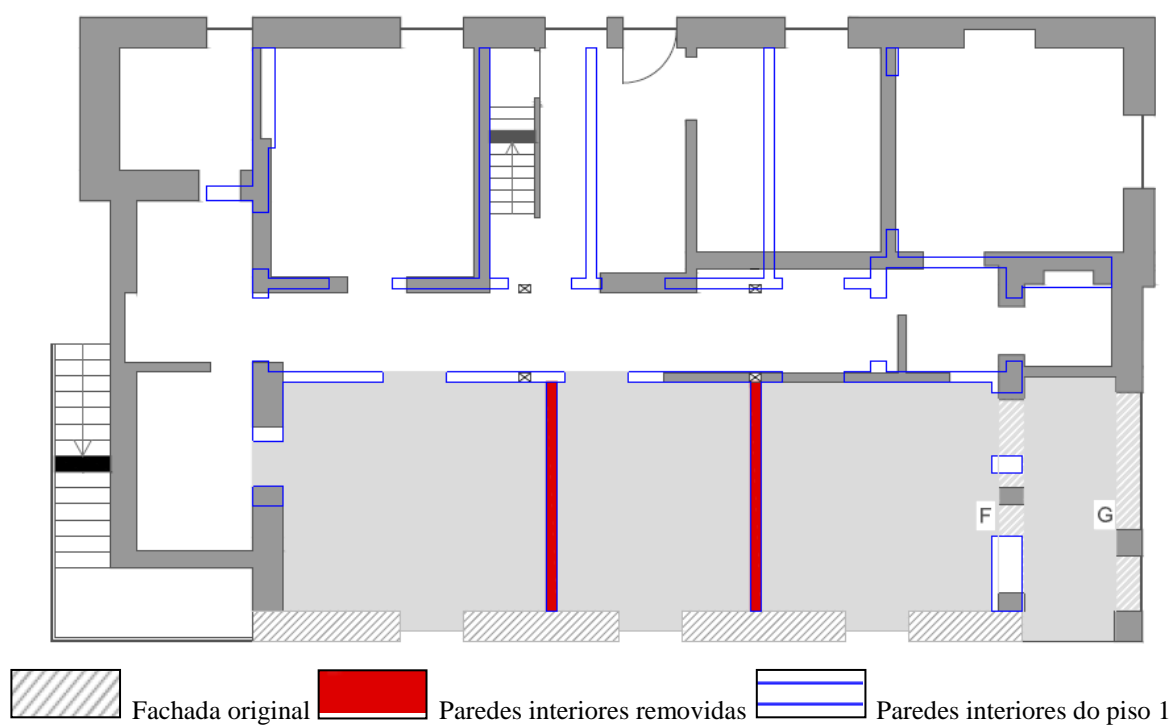


Ilustração 25 – Planta com sobreposição das paredes interiores do piso 1. Piso térreo

Da Ilustração 25 verifica-se que as paredes D e E são originais, pois encontram-se exatamente alinhadas com as paredes respetivas do piso 1. Em simultâneo verifica-se que a parede G é totalmente encerrada, algo que se comprova no desenho do alçado principal original (Ilustração 14). O mesmo acontece com a parede F, que tendo sobreposta uma parede sem descontinuidades (exceto janelas) necessita de massa suficiente para funcionar como suporte das cargas exercidas pela parede do piso superior. Esta análise feita através de sobreposição de desenhos – originais e atuais –, apenas se aplicou para as paredes que contactavam com a fachada lateral esquerda, pois tais semelhanças – entre piso térreo e piso 1 originais - não são possíveis de determinar no que ao lado oposto diz respeito. Por não existir mais informação disponível acerca da fachada lateral direita não foi possível, até à data, determinar a distribuição original das paredes interiores. Neste sentido está prevista uma nova prospeção física com georradar em locais que possam fornecer novas informações, com vista a poder terminar esta análise e, conseqüentemente, obter o desenho correto total da planta original do piso térreo. No entanto, de acordo com os estudos feitos, Ilustração 26 apresenta o resultado da retrospectiva feita até agora do piso térreo original:

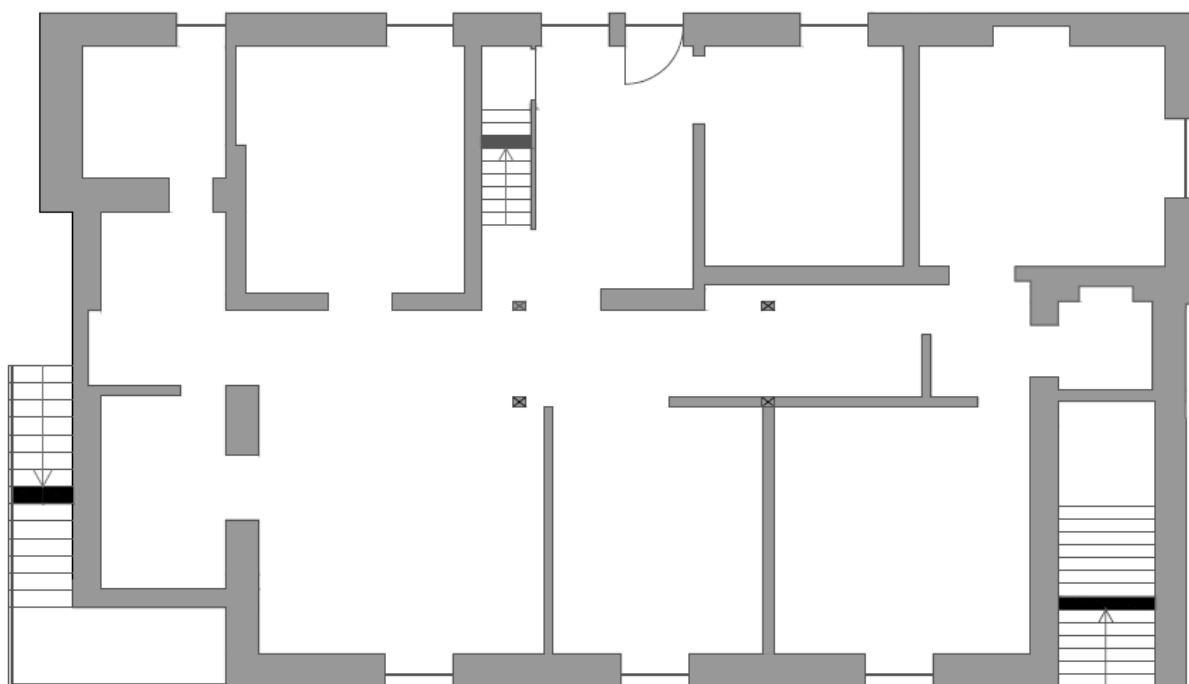


Ilustração 26 - Planta original. Piso térreo

4. INTERPRETAÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL

O presente capítulo tem como propósito a caracterização estrutural do edifício em estudo, encontra-se dividido em quatro partes, sendo que em cada uma delas é descrito de forma pormenorizada o comportamento dum determinada parte da estrutura: fundações, paredes, pavimentos e cobertura.

A caracterização estrutural do edificado consiste na descrição dos processos construtivos adotados, bem como na descrição pormenorizada de todos os elementos estruturais existentes, desde as suas dimensões, materiais, à forma como ocorre a transmissão de cargas entre os mesmos.

Com base nas inspeções efetuadas, é possível afirmar desde já que esta construção se enquadra nos padrões comuns utilizados na construção de edifícios antigos, caracterizando-se pela utilização de pouca diversidade de materiais, sobretudo naturais, e sujeitos a poucas transformações (Appleton, 2003).

4.1.Fundações

Este subcapítulo aborda o processo construtivo, quer da fundação do edificado, quer do pavimento do piso térreo.

Visto não existir nenhum local da estrutura que possibilite uma análise aprofundada do processo construtivo utilizado, propôs-se a realização de vários poços de inspeção em pontos que se considerou serem importantes com vista à caracterização das fundações.

Na definição dos pontos de inspeção, como se trata de um ensaio destrutivo, foram tidas em conta as seguintes considerações:

1. Evitar realizar sondagens em locais com revestimento mais nobre;
2. Procurar obter representatividade dos vários membros:
 - a. Paredes interiores/ exteriores;
 - b. Paredes não alteradas/ alteradas.

Os poços de inspeção, de abertura quadrangular com 40 cm de largura e cerca de 50 cm de profundidade, foram criados no dia 19/07/2013 e ficaram a cargo da empresa da área da construção civil SOMAGUE, uma das parceiras no projeto desenvolvido pela InovaDomus. Na Ilustração 27 são apresentados os poços de inspeção, bem como o levantamento fotográfico realizado, sendo que a orientação utilizada corresponde à ordem de abertura dos

poços, enquanto da Ilustração 28 à Ilustração 41 são apresentados os resultados do respetivo levantamento fotográfico:

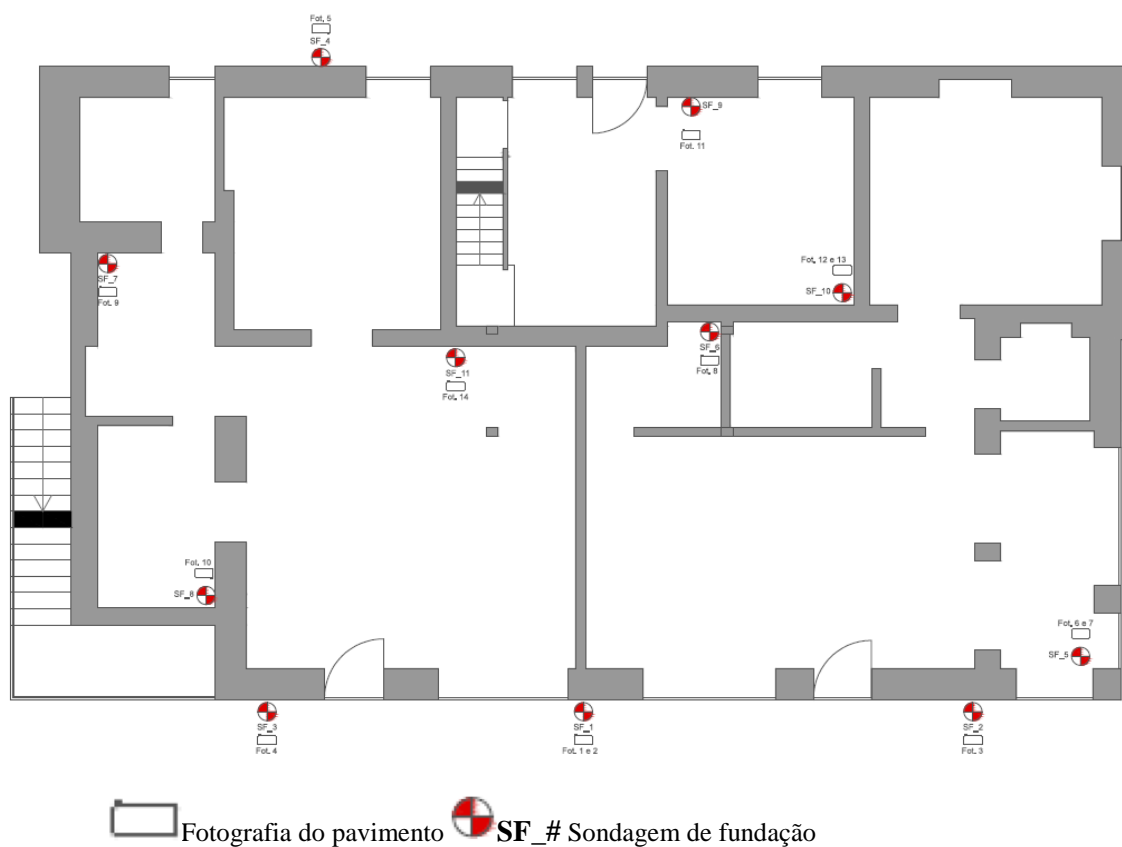


Ilustração 27 - Planta com representação de sondagens e respetivo levantamento fotográfico.
Piso térreo



Ilustração 28 - Poço de inspeção 1 –
Fotografia 1 na Ilustração 27



Ilustração 29 - Poço de inspeção 1 –
Fotografia 2 na Ilustração 27



Ilustração 30 - Poço de inspeção 2 –
Fotografia 3 na Ilustração 27



Ilustração 31 - Poço de inspeção 3 –
Fotografia 4 na Ilustração 27



Ilustração 32 - Poço de inspeção 4 –
Fotografia 5 na Ilustração 27



Ilustração 33 - Poço de inspeção 5 –
Fotografia 6 na Ilustração 27



Ilustração 34 - Poço de inspeção 5 –
Fotografia 7 na Ilustração 27



Ilustração 35 - Poço de inspeção 6 –
Fotografia 8 na Ilustração 27



Ilustração 36 - Poço de inspeção 7 –
Fotografia 9 na Ilustração 27



Ilustração 37 - Poço de inspeção 8 –
Fotografia 10 na Ilustração 27



Ilustração 38 - Poço de inspeção 9 –
Fotografia 11 na Ilustração 27



Ilustração 39 - Poço de inspeção 10 –
Fotografia 12 na Ilustração 27



Ilustração 40 - Poço de inspeção 10 –
Fotografia 13 na Ilustração 27



Ilustração 41 - Poço de inspeção 11 –
Fotografia 14 na Ilustração 27

Através dos poços de inspeção efetuados foi possível comprovar que as fundações desta habitação são compostas por sapatas isoladas em pilares e sapatas contínuas no caso de paredes.

No caso dos pilares, foi realizado um poço de inspeção – sondagem SF_6 – que permitiu verificar a existência de uma sapata isolada. No entanto, não foi possível determinar as dimensões da mesma, visto tratar-se de uma zona onde ocorre um cruzamento de várias paredes.

Relativamente às fundações das paredes - quer interiores, quer exteriores - é possível concluir que as mesmas são compostas por uma viga de fundação com cerca de 22 cm de altura assente em blocos de alvenaria de adobe. Os mesmos apresentam-se dispostos de forma transversal ao desenvolvimento da parede, de forma a criar uma sobrelargura e, conseqüentemente, facilitar a transmissão das cargas por parte das paredes para o terreno onde a casa está implantada. De referir ainda que em todos os poços de inspeção se verificou a existência de uma fiada de tijolo abaixo da cota zero – Ilustração 42.

No entanto, apesar do processo construtivo das fundações ser idêntico nos vários poços de inspeção realizados, foram encontradas algumas diferenças que se podem sintetizar da seguinte forma:

- A viga de fundação apresenta diferentes constituições, sendo que em algumas paredes interiores é composta por betão enquanto que nas vigas de fundação das paredes exteriores é composta por um material de enchimento, claramente mais pobre.
- Relativamente aos blocos de alvenaria de adobe utilizados, verificou-se a existência de locais onde foram sobrepostas duas fiadas dos mesmos, em detrimento de apenas uma, acreditando-se que tal se deva a razões de desnivelamento do terreno de fundação.

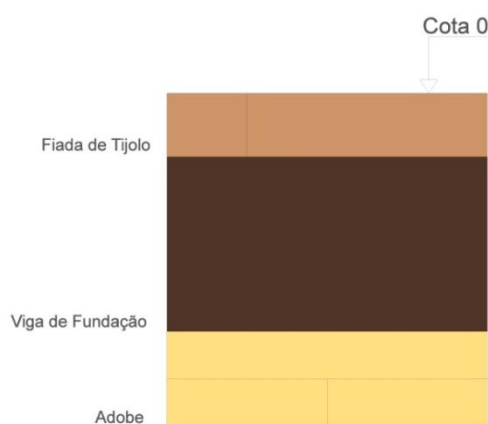


Ilustração 42 - Corte representativo da fundação de uma parede

Por último, é importante referir que pelas razões anteriormente indicadas não é possível verificar qual o material constituinte do pavimento em todos os compartimentos do piso térreo. Contudo, nos compartimentos submetidos a poços de inspeção, verificou-se a existência de uma betonilha com cerca de 2 cm de espessura, levando a crer que este foi o material utilizado em todos os compartimentos do piso térreo, tal como apresentado na Ilustração 43.

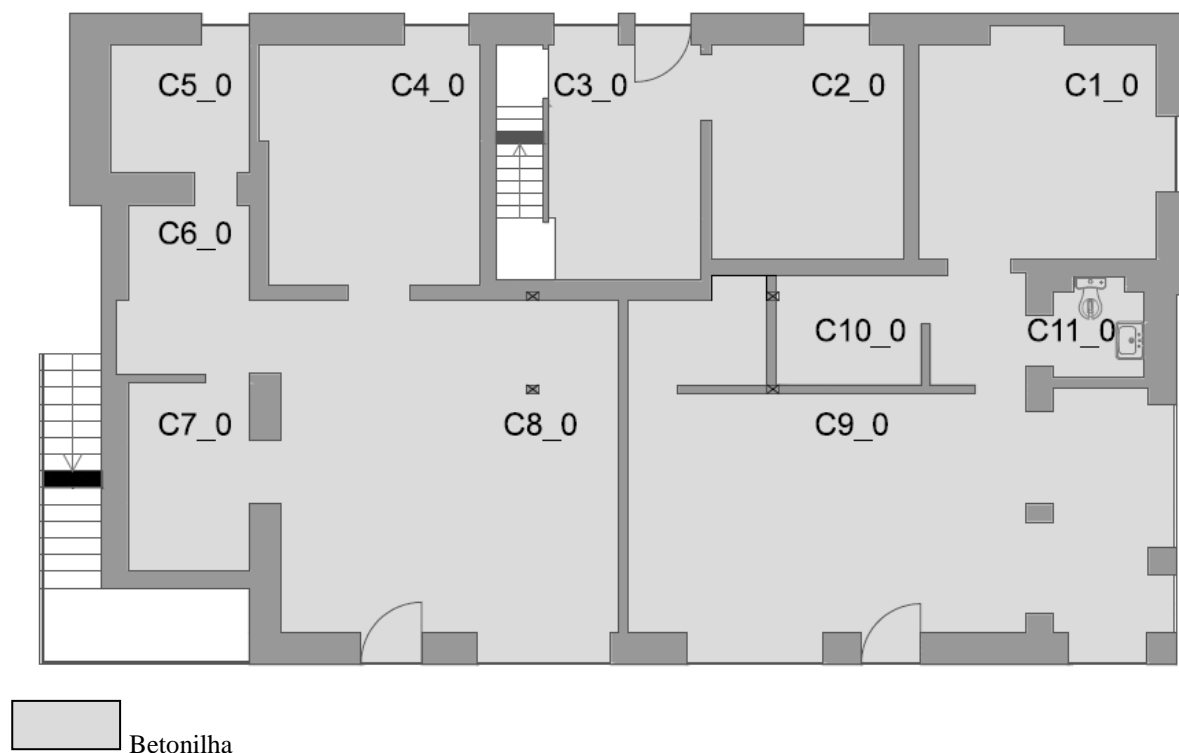


Ilustração 43 – Planta com representação da estrutura do pavimento. Piso térreo

4.2.Paredes

Neste subcapítulo é apresentado o processo construtivo das paredes do edificado. As paredes edificadas, tanto as exteriores como as interiores, estão construídas em tijolo vazado, sendo que o mesmo foi comprovado através da realização de uma prospeção geofísica recorrendo a ensaio de Radar. Os ensaios com este aparelho foram realizados por uma das empresas colaboradoras do projeto, o grupo DRYAS OCTOPETALA, tendo sido iniciados no dia 13/12/2012. Na Ilustração 44 é apresentado um exemplo de um radargrama obtido durante a prospeção efetuada.

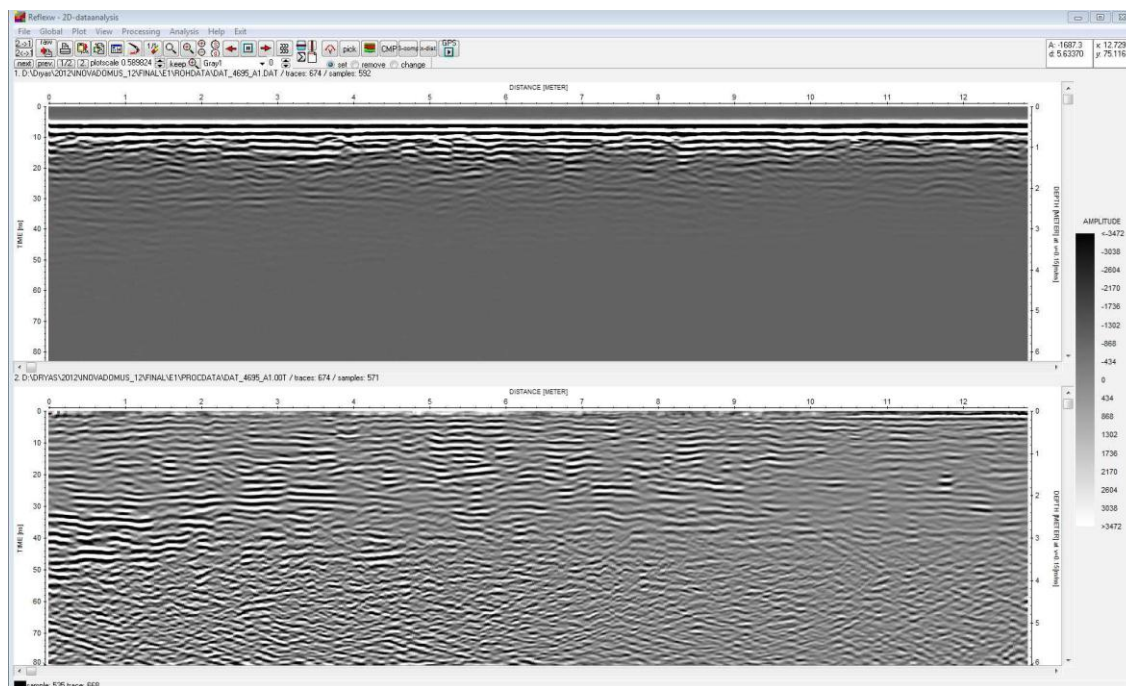


Ilustração 44 - Exemplo de um radargrama antes (acima) e após (abaixo) processamento (Barraca e Almeida, 2013)

Com a realização deste ensaio, foi possível obter bastante informação acerca das paredes do edificado, tais como o material constituinte, a espessura das paredes exteriores/interiores, bem como uma maior pormenorização acerca de eventuais anomalias existentes.

4.2.1. Material constituinte

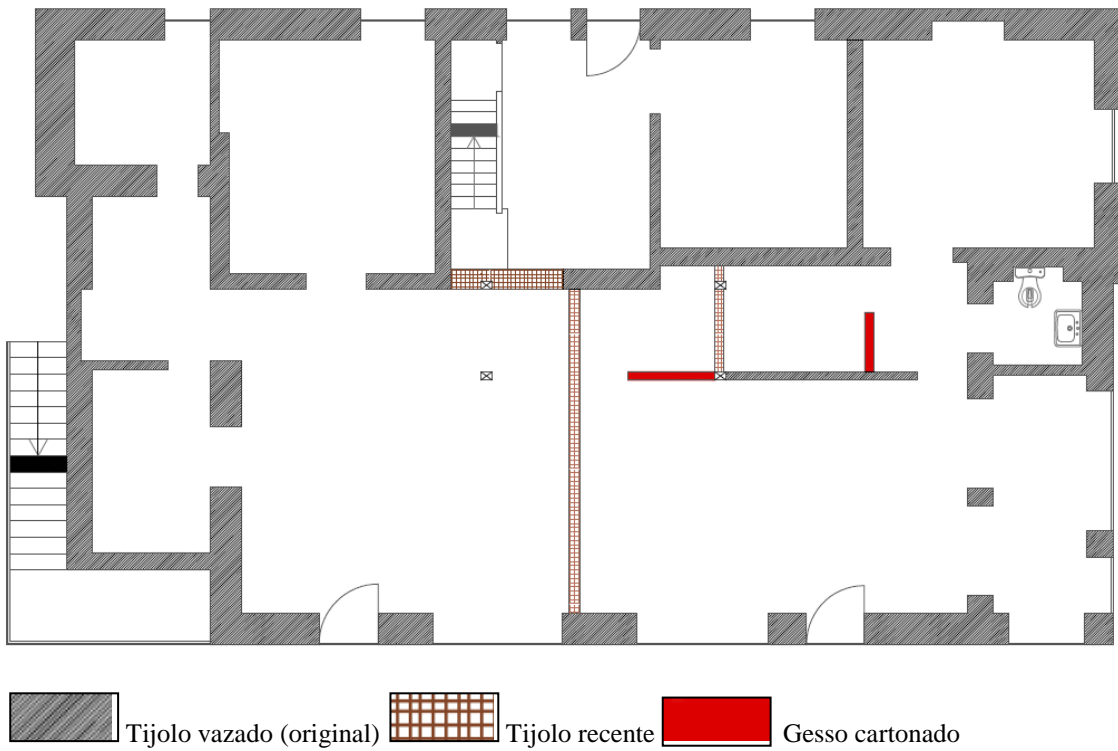


Ilustração 45 - Mapa de materiais. Piso térreo

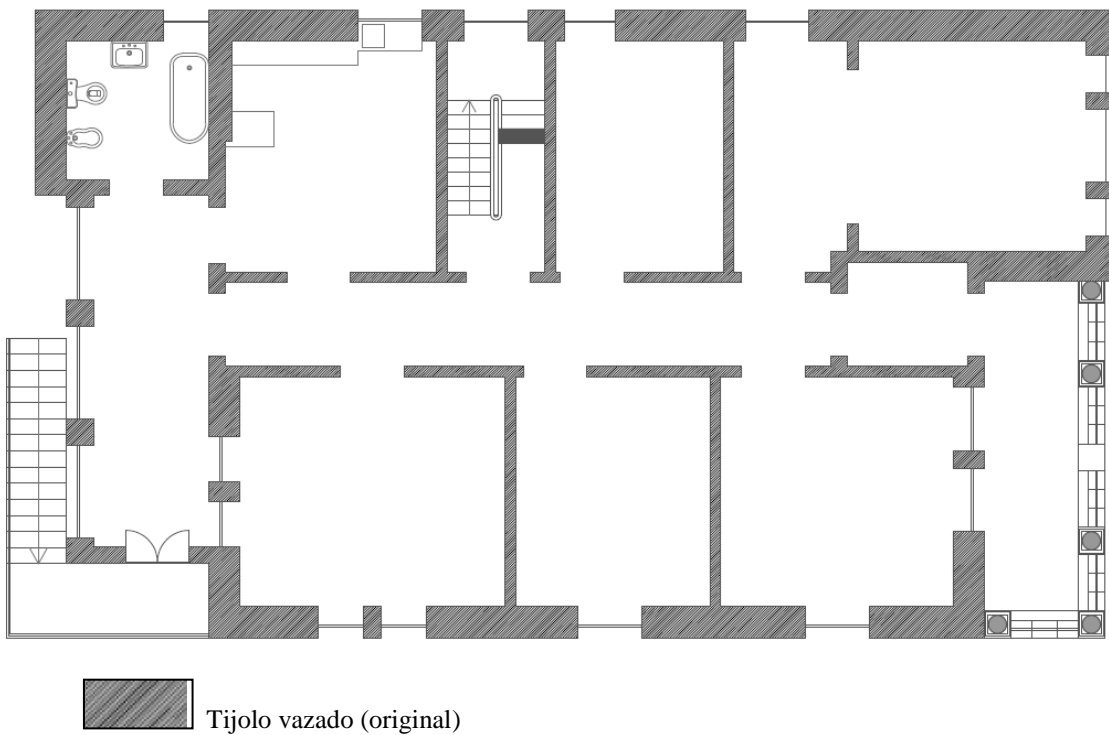


Ilustração 46 - Mapa de materiais. Piso 1

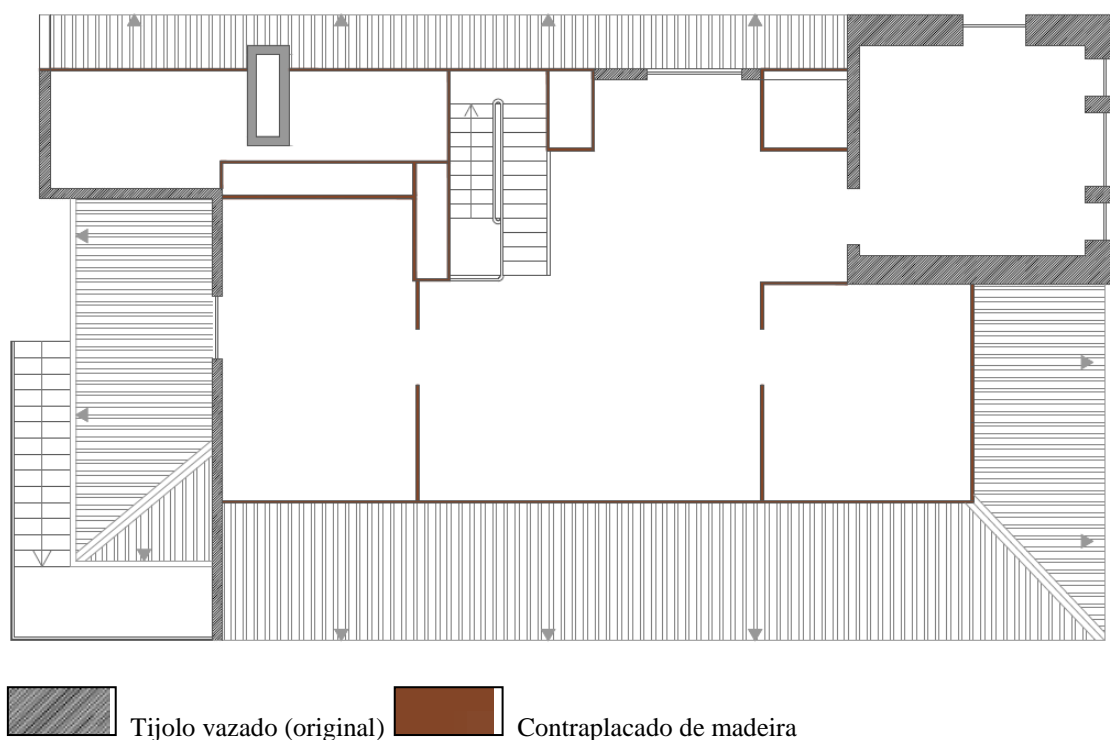


Ilustração 47 - Mapa de materiais. Piso 2

Relativamente ao material constituinte das paredes, verificou-se que o material original se trata de um tijolo vazado, com dimensões de cerca 300 x 60 x 80 mm.

Através das plantas acima apresentadas (Ilustração 45 à Ilustração 47), é possível verificar que o mesmo se encontra aplicado em todas as paredes exteriores e na maioria das paredes interiores.

Analisando a Ilustração 45, relativa ao piso térreo, identificam-se 4 materiais distintos:

- Tijolo vazado – Alvenaria original;
- Tijolo regular (30x20) – Alvenaria recente;
- Gesso cartonado;
- Betão armado – Pilares.

Com esta planta é possível estabelecer uma distinção, ao nível das paredes interiores, entre o que é original e o que foi criado posteriormente - aquando da criação das lojas no piso térreo.

De referir que, de modo a não dificultar a interpretação da ilustração relativa ao piso térreo, optou-se por não se colocar os elementos estruturais em betão armado – vigas e pilares, visto que os mesmos se encontram no alinhamento das paredes interiores do respetivo piso.

As paredes em gesso cartonado, uma vez que não têm qualquer função estrutural, serão os primeiros elementos a ser removidos na reestruturação do piso térreo.

Relativamente à Ilustração 46, que apresenta as paredes do piso 1, verifica-se que as mesmas se encontram construídas em tijolo vazado, indo ao encontro das suspeitas entretanto confirmadas, que comprovam que o piso em questão não foi sujeito a alterações.

O piso 2 (Ilustração 47), por sua vez, tratando-se de um sótão, apresenta paredes divisórias construídas em aglomerado de madeira; exceto na zona do torreão, por se tratar de uma área de paredes originais, estas são compostas por tijolo vazado.

4.2.2. Espessura

Após uma análise cuidada *in loco* e com o auxílio do varrimento laser realizado pelo grupo DRYAS OCTOPETALA, foi possível obter com maior precisão as espessuras de todas as paredes do edificado.

Relativamente às paredes exteriores, estas apresentam a mesma espessura, a de 0,52 m no piso térreo, no primeiro piso e no torreão.

Por outro lado, ocorre uma variação de espessura ao nível das paredes interiores – as paredes interiores do piso térreo apresentam uma espessura de 0,15 m, enquanto as paredes interiores do primeiro piso têm uma espessura de 0,13 m.

Por último, quanto às paredes interiores do último piso, estas apresentam a dimensão do aglomerado de madeira utilizado.

Com este ensaio foi ainda possível esclarecer certas dúvidas existentes acerca da conceção original da casa, tal como referido no capítulo 3 da presente dissertação (vd. *supra* 19).

4.2.3. Descrição estrutural

Face ao elevado peso por metro linear que as alvenarias apresentam num edifício, aliado ao facto do edificado ter sofrido alterações ao nível do piso térreo, bem como por se tratar de uma estrutura antiga com pavimento em madeira, torna-se questão de extrema importância a análise do modo como as mesmas se encontram dispostas.

Desta forma, realizou-se uma sobreposição das plantas (piso térreo e piso 1), através dos documentos digitais disponíveis, com vista a tornar possível a observação do modo como são resolvidas as transmissões de cargas, bem como a identificação de um potencial problema de concentração das mesmas, resultante da supressão de um elemento estrutural, como é visível na Ilustração 48.



Ilustração 48 – Planta com sobreposição das paredes do piso 1. Piso térreo



Ilustração 49 - Planta com sobreposição das paredes interiores piso 2. Piso 1

Com base nos resultados obtidos na Ilustração 48, é possível concluir que ao nível das paredes paralelas à fachada principal, a transmissão de cargas ocorre sem problemas, já que as paredes do piso 1 descarregam diretamente nas paredes do piso térreo. Já as paredes perpendiculares à fachada principal, ou seja, as paredes que constituem o corredor central do piso 1, descarregam sobre os elementos estruturais em betão armado existentes no piso térreo (vigas e pilares), alinhados com este mesmo corredor, tal como descrito no capítulo 4 da presente dissertação (vd. *infra* 40 - 42).

Por sua vez, tal como é possível verificar na Ilustração 49, não existem problemas na transmissão de cargas do piso 2 para o piso 1.

No entanto, os pontos A e B, identificados na Ilustração 48, requerem maior cuidado em termos de monitorização, visto que se apresentam como locais onde a carga resultante do peso próprio da parede não é transferida diretamente para as paredes do piso térreo. Isto deve-se às alterações que ocorreram no mesmo – remoção de paredes e consequente introdução de reforços estruturais no sentido de colmatar essa lacuna.

A Ilustração 50 representa o descrito anteriormente (ponto A na Ilustração 48), onde é observado o reforço de betão envolvido por duas vigas de madeira em todo o seu comprimento, com espessuras de 10,0 cm (viga da esquerda) e 9,0 cm (viga da direita), respetivamente.



Ilustração 50 – Reforço de betão envolvido por duas vigas de madeira no local da parede removida (local A – Ilustração 48)

4.3.Pavimento

Em primeiro lugar, é necessário referir que este capítulo se refere somente aos dois pavimentos elevados existentes no edificado (pisos 1 e 2), tendo o pavimento térreo (piso térreo) sido remetido para o capítulo referente às fundações. Dentro do grupo dos pavimentos elevados, estabeleceu-se uma divisão, com base no material estrutural que o compõe:

- Estrutura em madeira;
- Estrutura em betão armado.

Este último apenas está presente nos compartimentos C5_1 e C6_1, enquanto a estrutura em madeira compõe o restante pavimento, tal como apresentado na Ilustração 51 e Ilustração 52.

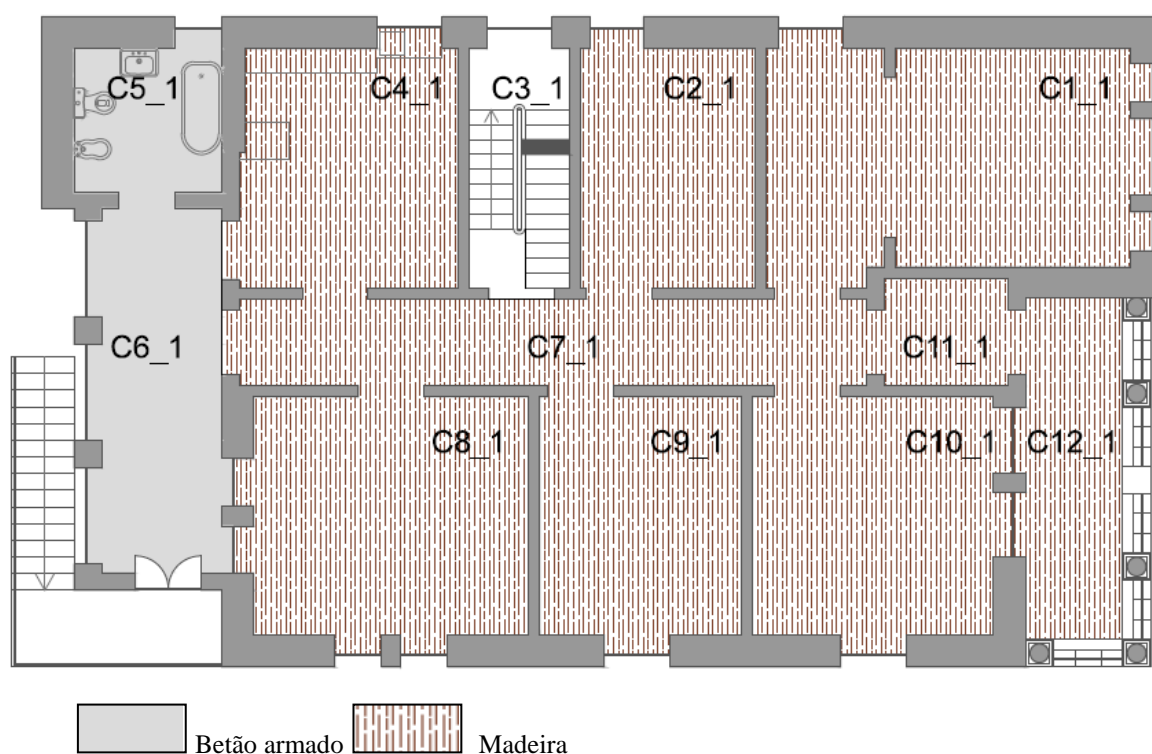


Ilustração 51 – Representação da estrutura do pavimento. Piso 1

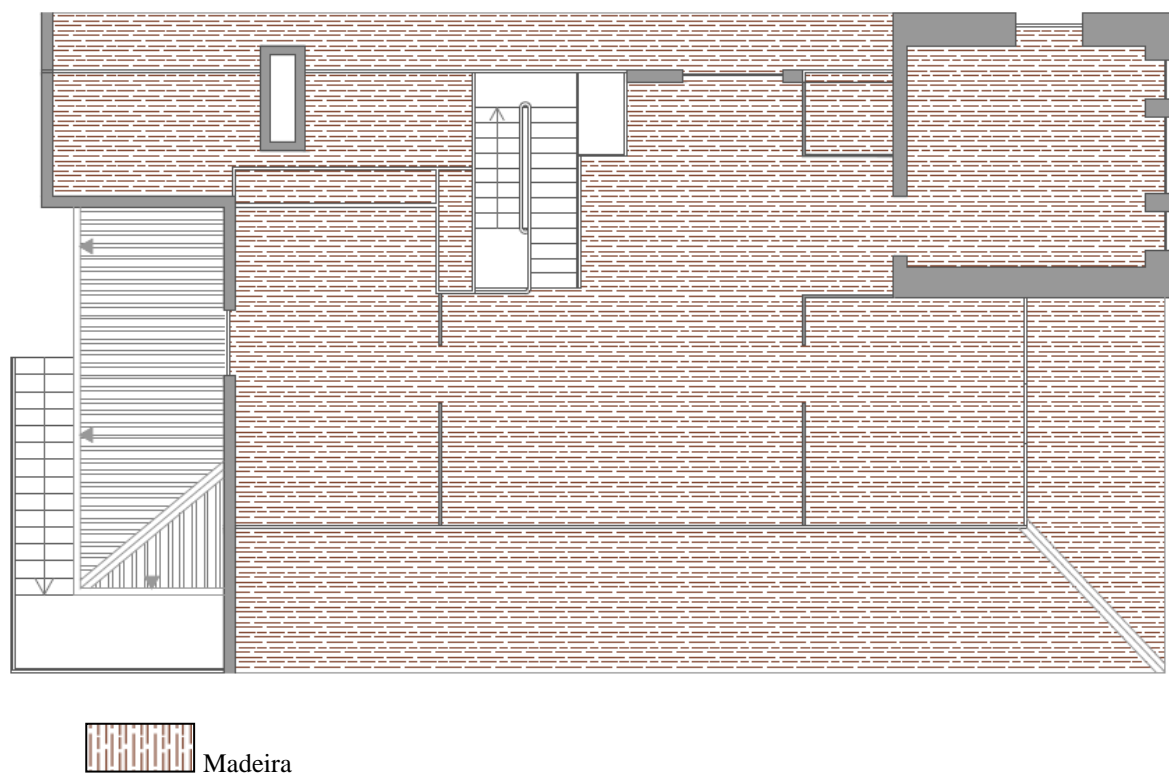


Ilustração 52 - Representação da estrutura do pavimento. Piso 2

4.3.1. Descrição estrutural

Tendo em linha de conta que os compartimentos realizados em betão armado correspondem a uma espécie de anexo da casa, que se acredita ter sido construído aquando da construção da mesma, não existe razão aparente para ter sido adotado um processo construtivo diferente do utilizado no restante edificado. Perante esta situação, foi recomendada a realização de uma bateria de ensaios que permitam determinar com rigor a constituição da laje destes compartimentos.

No que diz respeito aos pavimentos elevados do primeiro tipo, como o próprio nome indica, a madeira apresenta-se como o principal (e único) material na sua execução, cujo esquema estrutural utilizado consiste na conceção de um sistema de vigamento. Desta forma, por este se apresentar como elemento de maior preponderância, os pontos a seguir apresentados dizem apenas respeito aos pavimentos em madeira.

4.3.1.1. Vigas

As vigas apresentam-se como o principal elemento estrutural na conceção dos pavimentos, estando dispostas paralelamente entre si e separadas por uma distância de cerca de 0,6 m. Com uma secção transversal de 100x200 mm², estas recebem as cargas provenientes do

pavimento – soalho de madeira – e transferem-nas posteriormente para as paredes resistentes de alvenaria, nas quais se encontram apoiadas, como é visível na Ilustração 53.



Ilustração 53 – Entrega de uma viga numa parede interior do piso térreo

Relativamente à entrega das vigas de pavimento na parede de fachada, é possível verificar que estas se encontram apoiadas na parede através de descontinuidades criadas na própria alvenaria, tal como é visível na Ilustração 54. No entanto, propôs-se a realização de um ensaio de termografia que permita compreender melhor a forma como a entrega é feita, bem como determinar o comprimento da mesma.



Ilustração 54 - Entrega de uma viga de piso na parede de fachada

Como se pode verificar através da Ilustração 55, as vigas de cobertura encontram-se apoiadas na parede de forma semelhante às vigas de pavimento (descontinuidades criadas na alvenaria). Perante a fácil acessibilidade aos vários desvãos da cobertura, foi possível determinar o comprimento de entrega das vigas na parede de fachada - cerca de 25 cm - sendo que a única alteração verificada se deve a um entalhe criado nas vigas com vista à colocação do frechal.



Ilustração 55 - Entrega de uma viga de cobertura na parede de fachada

Na Ilustração 56 e Ilustração 57 são apresentados os esquemas estruturais das lajes dos pisos 1 e 2.

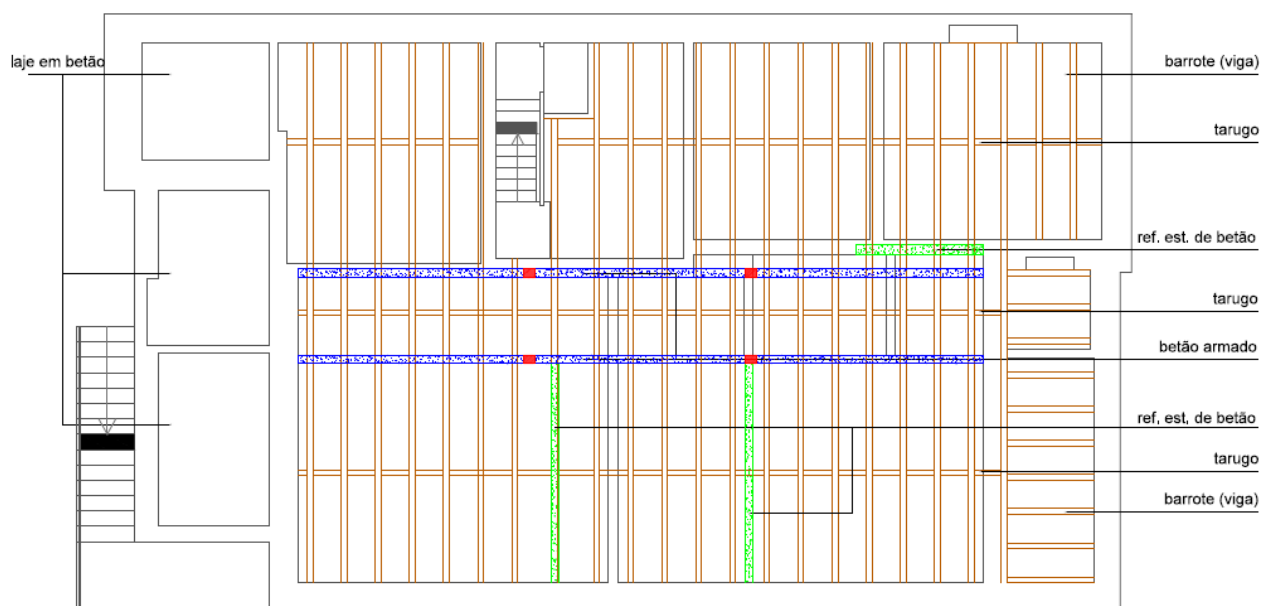


Ilustração 56 - Esquema estrutural da laje. Piso 1

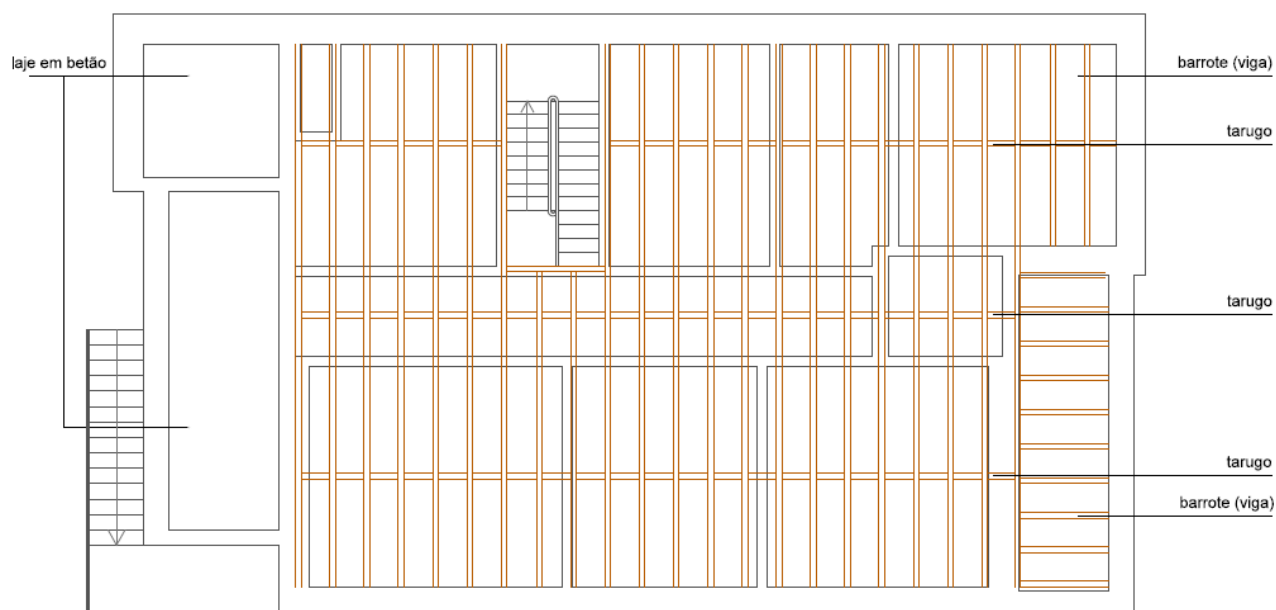


Ilustração 57 - Esquema estrutural da laje. Piso 2

Através da Ilustração 56 é possível constatar a existência de elementos em betão armado - pilares e vigas. Os elementos representados a azul fazem parte da leitura inicial da casa, como foi constatado através das sondagens geotécnicas e dos resultados obtidos com o esclerómetro e pacómetro, realizados no dia 09/04/2013 pelo laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Na Ilustração 58 apresenta-se uma planta com os elementos estruturais originais em betão armado encontrados, assim como um corte representativo da ligação entre os elementos estruturais viga-pilar (P1) – Ilustração 59.

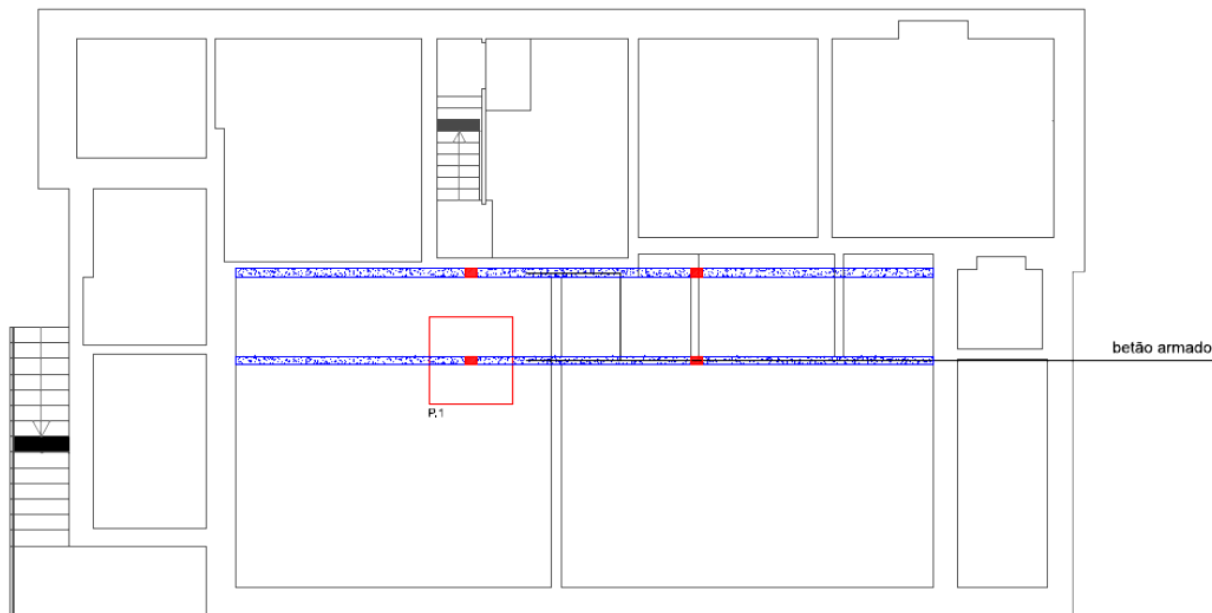


Ilustração 58 - Elementos estruturais originais em betão armado

P1:

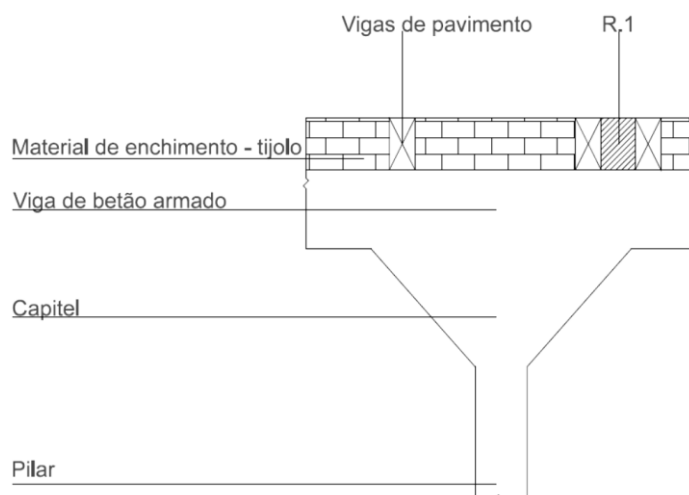


Ilustração 59 - Corte representativo da ligação entre viga e pilar

Os pilares apresentam secções transversais de $150 \times 200 \text{ mm}^2$ enquanto as vigas apresentam secções de $150 \times 300 \text{ mm}^2$.

Como é possível constatar através do corte, a ligação entre pilar e viga é estabelecida por meio de um capitel, com uma inclinação de cerca de 50 graus.

Relativamente às vigas de pavimento que sobrepõem estes elementos, estas encontram-se apoiadas na viga de betão armado, que por sua vez descarrega as cargas para os pilares que posteriormente transmitem as cargas para a fundação.

De referir que entre as vigas de pavimento se verificou a existência de tijolo, que funcionou como material de enchimento e, desta forma, permitiu o suporte do soalho do piso 1.

Por último, apresentam-se as vigas em betão armado (identificados a verde na Ilustração 60), também constituintes do esquema estrutural da laje do piso 1 mas que, por terem sido colocadas posteriormente - aquando da remoção de paredes ao nível do piso térreo - aparecem destacados dos elementos de betão armado anteriores.

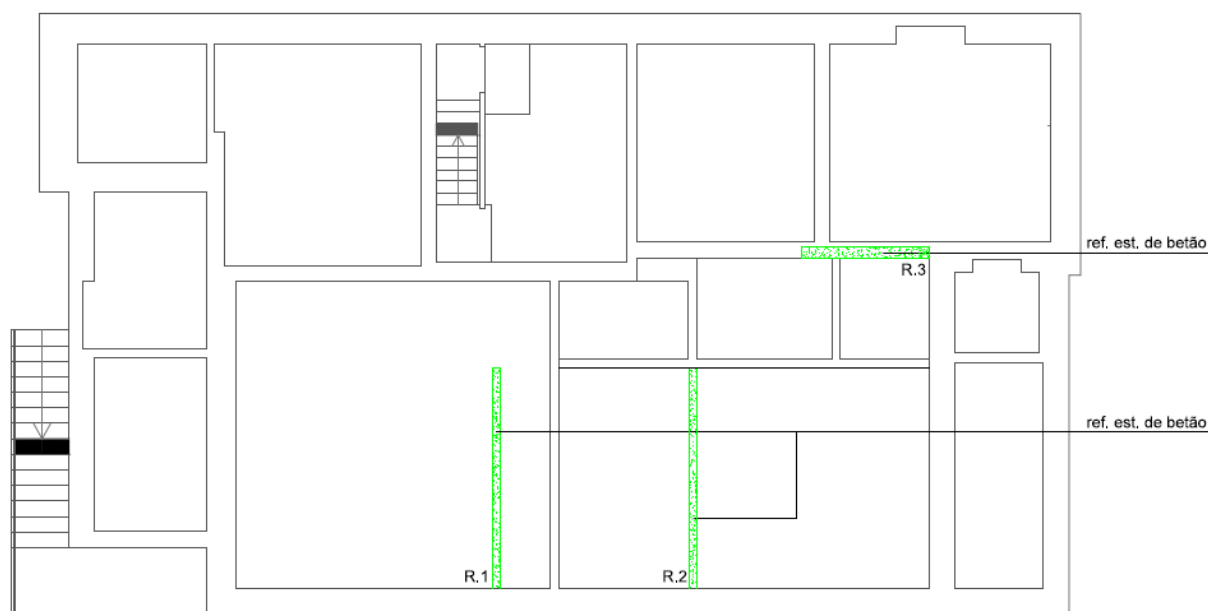


Ilustração 60 - Elementos estruturais em betão armado colocados posteriormente

Apesar destes elementos não terem sido todos ensaiados é possível concluir, por meio de observação direta, que as secções dos elementos, assim como o betão utilizado – mais recente - são diferentes quando comparados com os elementos de betão armado originais.

4.3.1.2. Tarugos

Perpendicularmente, verifica-se a existência de tarugos com 0,1 m de espessura, que têm como função redistribuir as tensões e assim contraventar a estrutura. Como é visível através da Ilustração 56 e Ilustração 57, existem 3 tarugos por piso, espaçados entre si por 3,0 m, comprovando que as paredes interiores desempenham uma função estrutural. Apesar de ser de difícil visualização (tendo-se aproveitado um local de ensaio realizado previamente), na Ilustração 61 apresenta-se um tarugo relativo ao pavimento do piso 1.



Ilustração 61 - Tarugo do pavimento do Piso 1

4.3.1.3. Soalho

Sobre as vigas, encontra-se aplicado soalho em madeira com tábuas na ordem dos 100 x 25 mm² e comprimento na ordem dos 2,4 m - Ilustração 62. Estas apresentam-se dispostas perpendicularmente às vigas e encontram-se em todos os compartimentos dos pisos 1 e 2. A única exceção, por razões óbvias, é a casa de banho, que se encontra revestida em material cerâmico.



Ilustração 62 - Vista geral do soalho

Por último, é importante referir que a zona por baixo da varanda apresenta as vigas dispostas na perpendicular ao resto do piso, o que se justifica pela disposição da varanda e consequente maior facilidade na transmissão das cargas. No entanto, trata-se de um trabalho recente, realizado aquando da remoção das escadas da fachada originais.

4.3.2. Materiais de revestimento

Após ter sido feita uma abordagem dos materiais estruturais (neste caso somente madeira), passa-se agora para os materiais de revestimento dos pavimentos.

Foi possível identificar os seguintes tipos de revestimentos no edifício:

- Tacos de madeira (TM);
- Mosaico Hidráulico (MH);
- Material cerâmico (MC);
- Soalho Flutuante (SF);
- Betão (B);
- Soalho de madeira (SM);
- Pedra marmorite (PM).

Com vista a simplificar a identificação dos diversos materiais de revestimento do edificado, os mesmos são apresentados na Ilustração 63, Ilustração 64 e Ilustração 65, referentes às plantas dos diversos pisos.

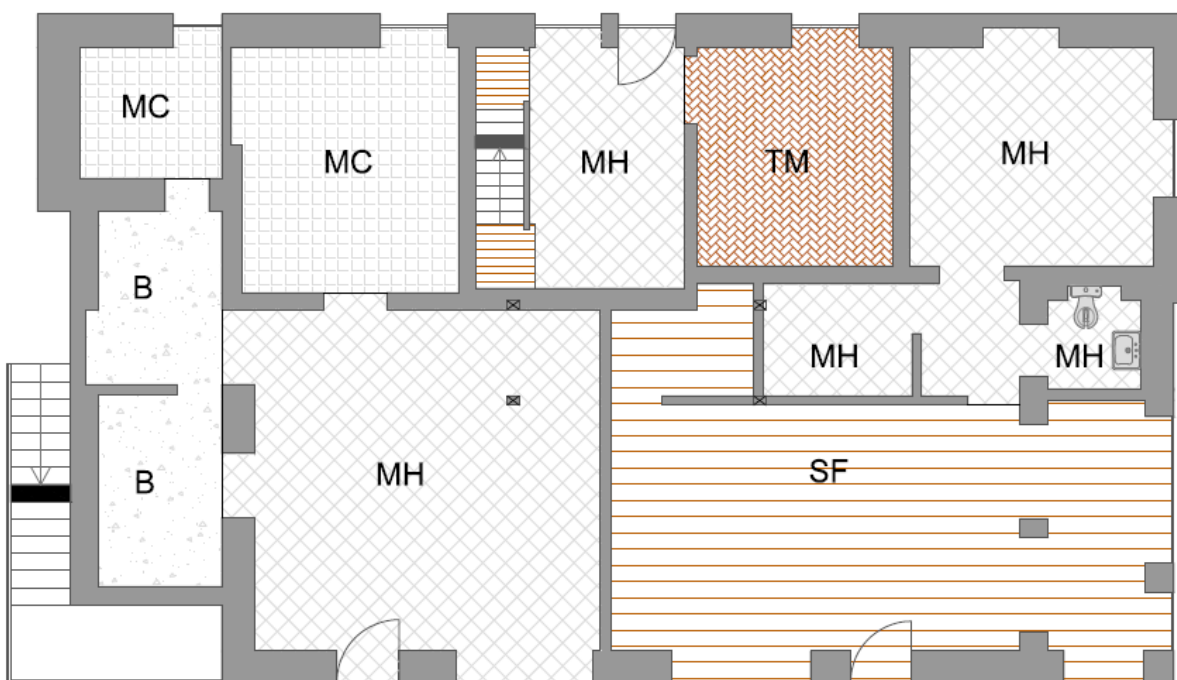


Ilustração 63 - Mapa de materiais de revestimento. Piso térreo

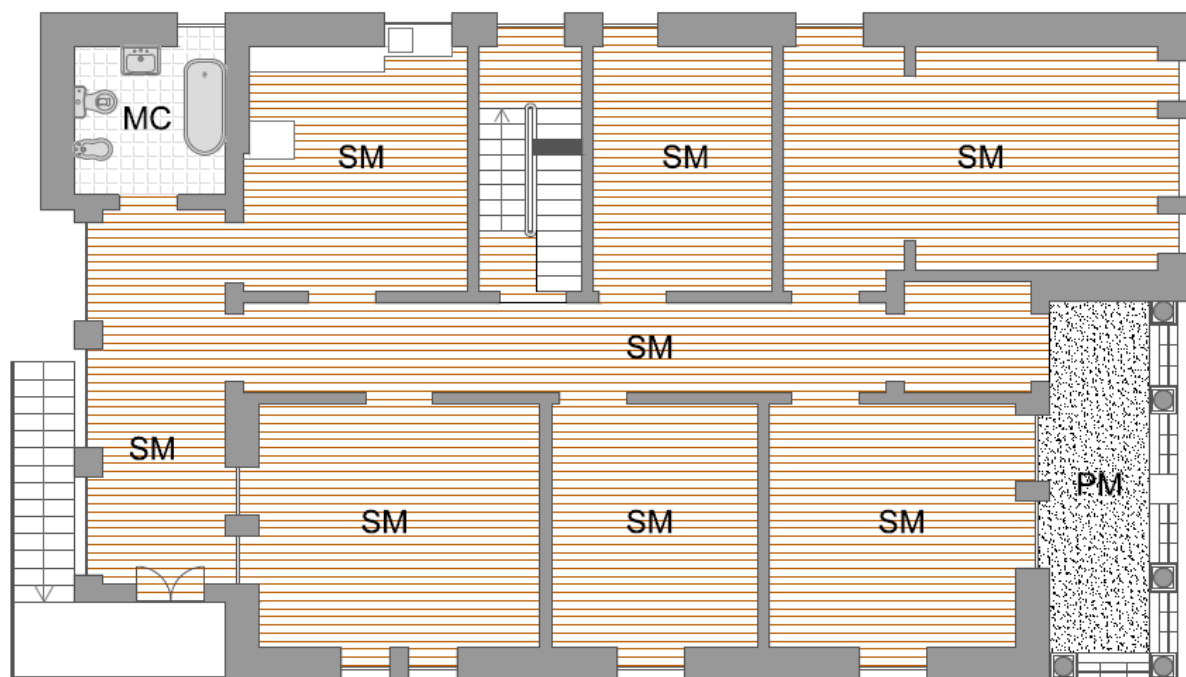


Ilustração 64 - Mapa de materiais de revestimento. Piso 1

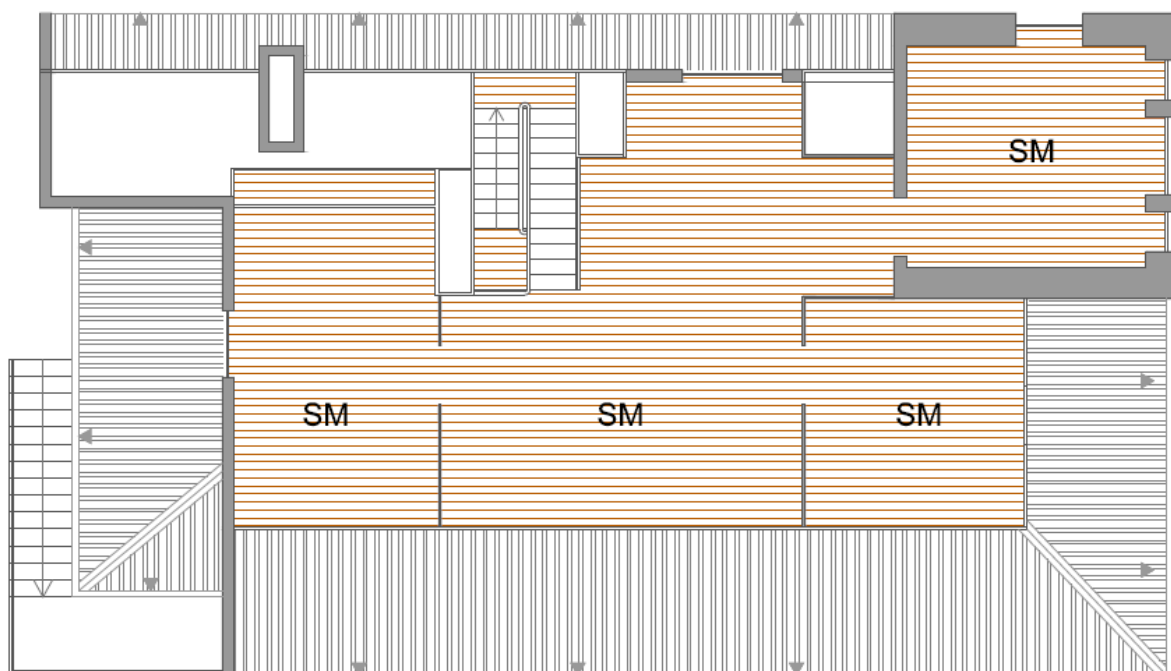


Ilustração 65 - Mapa de materiais de revestimento. Piso 2

4.4.Cobertura

Nesta secção é descrita a solução estrutural encontrada no edifício em estudo, sendo ainda definidas as dimensões e geometrias dos principais elementos da cobertura.

Para uma melhor compreensão da geometria da cobertura, na Ilustração 66 é apresentada a planta da mesma.

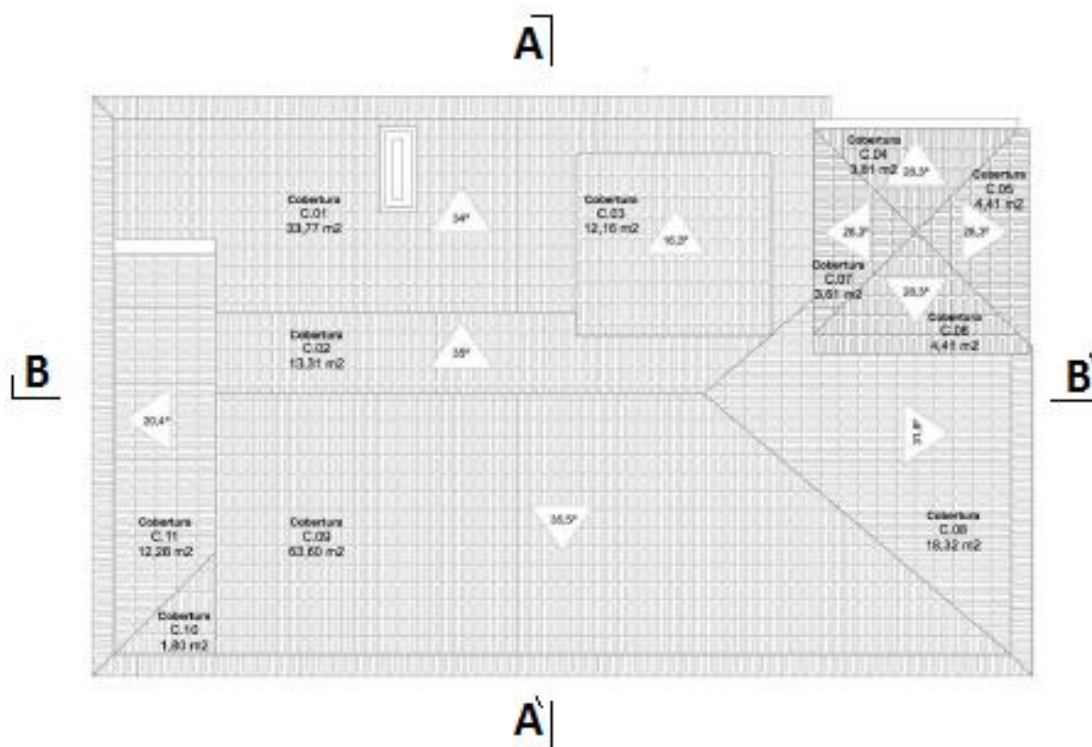


Ilustração 66 - Planta de cobertura. Identificação da orientação e inclinação das pendentes

Na Ilustração 67 e Ilustração 68 encontram-se representados os cortes identificados na ilustração anterior, de modo a melhor compreender as pendentes da cobertura:

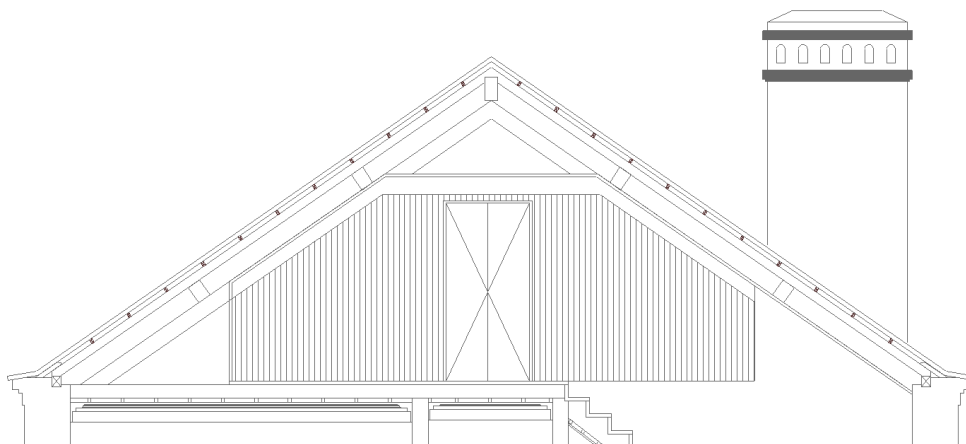


Ilustração 67 - Corte AA' identificado na Ilustração 66

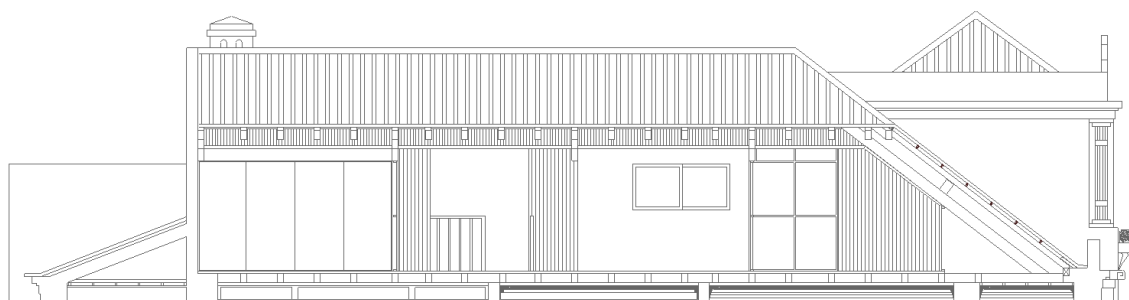


Ilustração 68 - Corte BB' identificado na Ilustração 66

De uma forma simplificada pode dividir-se a cobertura em duas zonas:

- Zona do corpo principal do edifício,
- Zona do torreão.

A zona do corpo principal do edifício é caracterizada por um telhado de 3 águas, com diferentes inclinações, enquanto a zona do torreão é composta por um telhado de 4 águas de iguais pendentes (Ilustração 66).

4.4.1. Descrição estrutural

Durante a inspeção realizada à cobertura foi possível verificar que a madeira foi o material adotado em todos os elementos estruturais. De certa forma, era esperado que tal sucedesse, visto que se trata duma cobertura inclinada antiga. O esquema estrutural adotado apresenta uma geometria bastante simples, sendo constituído por asnas, madres, barrotes de cobertura

(varas), ripas e telha cerâmica. Relativamente à zona do torreão, face à difícil acessibilidade à estrutura da cobertura do mesmo, ainda não foi possível obter as dimensões exatas dos seus elementos constituintes. Na Ilustração 69 é apresentado o esquema estrutural da cobertura.

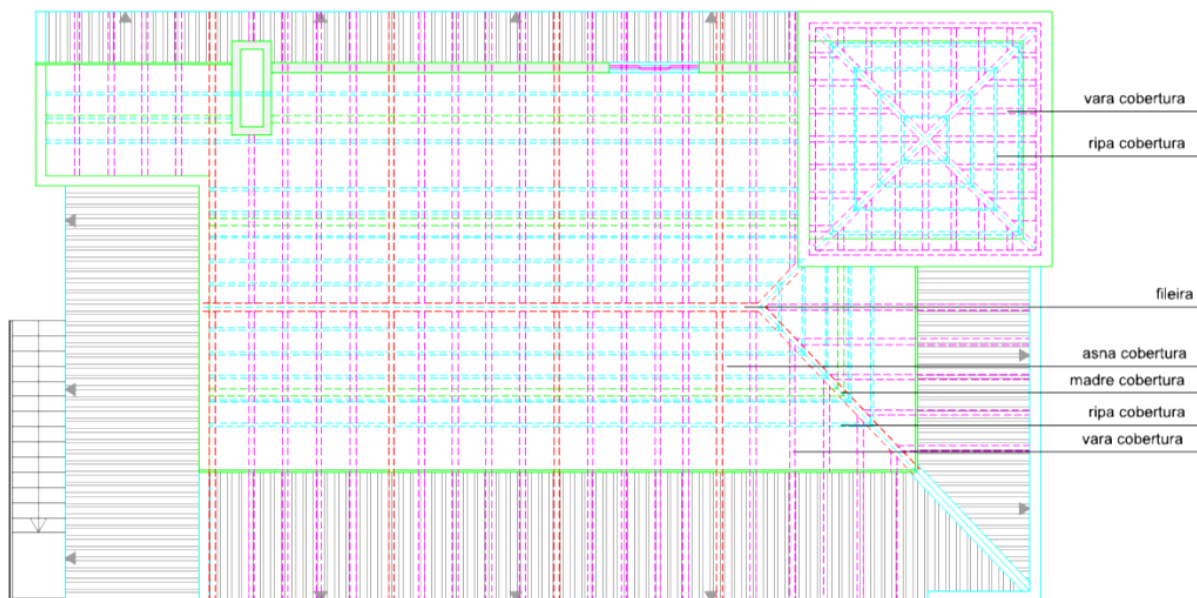


Ilustração 69 - Esquema estrutural. Cobertura

4.4.1.1. Asnas

As asnas (Ilustração 70), constituem o principal elemento estrutural da cobertura, suportando todo o peso da mesma e transmitindo posteriormente os esforços para a viga de pavimento na qual estão assentes. É ela que, por sua vez, transfere os esforços para as paredes exteriores.



Ilustração 70 - Asna de cobertura

Com a Ilustração 71 é possível verificar a distribuição das asnas em toda a cobertura.

Mapa de asnas

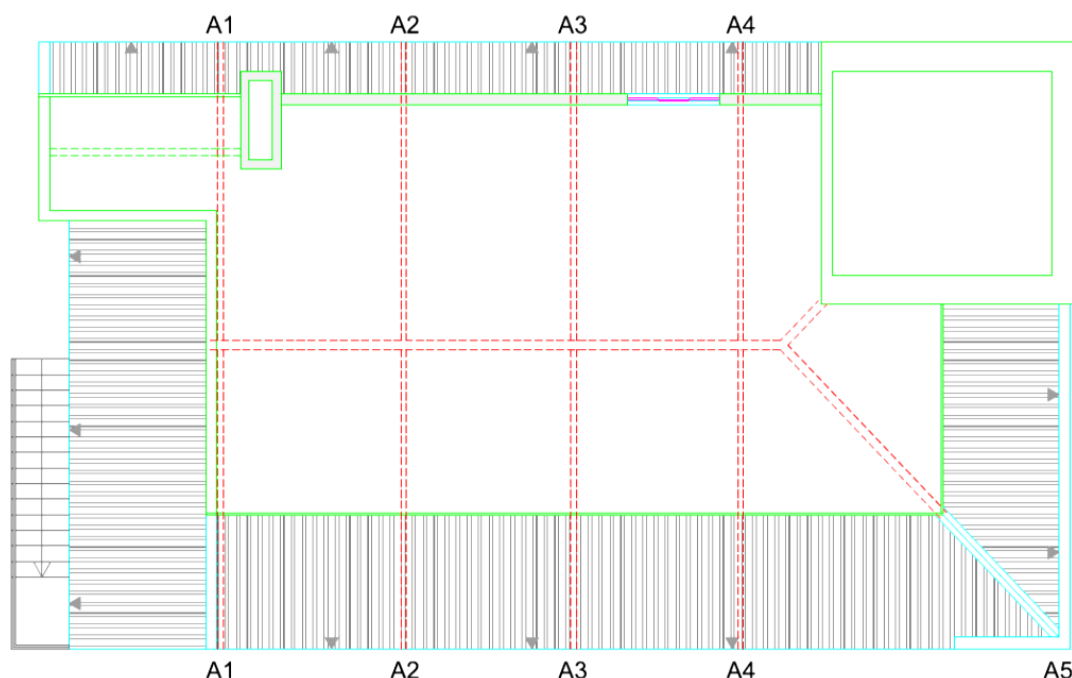


Ilustração 71 – Identificação das asnas de cobertura

Na Tabela 1 é feito o resumo das características dos elementos estruturais em questão, sendo que não são apresentadas as características relativas à asna A1 pois não existe acesso à mesma.

Tabela 1 - Dimensões das asnas de cobertura

Elemento	Secção transversal		Inclinação (°)
	b (mm)	h (mm)	
A1	-	-	-
A2	85	180	40
A3	90	180	
A4	85	180	
A5 (canto)	100	200	30

Ligação

Na ligação entre a asna e a viga de pavimento foi utilizada uma ligação tradicional, que consiste na transmissão de forças por contacto direto através da interface entalhada. O nó de encontro utilizado denomina-se por “dente simples anterior” e encontra-se representado na Ilustração 72 e Ilustração 73.

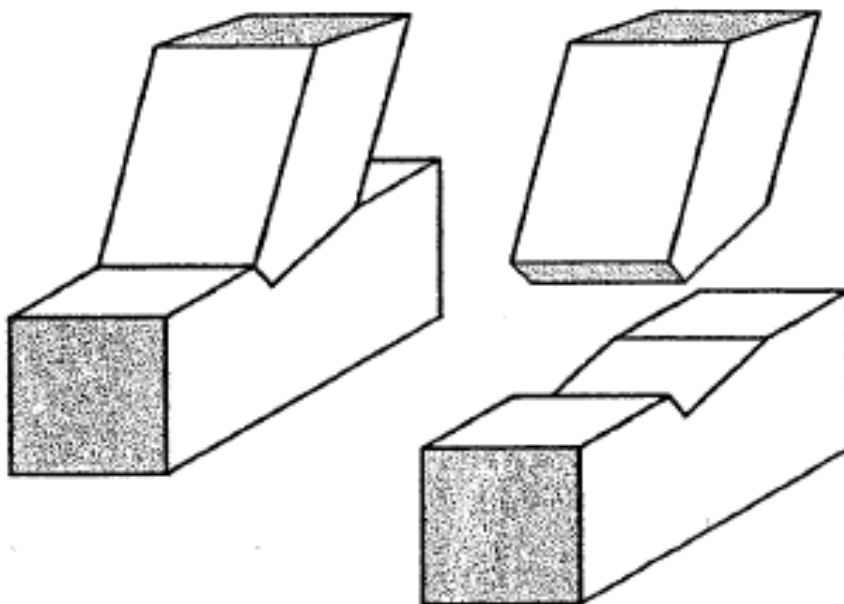


Ilustração 72 - Ligação por entalhe do tipo "dente simples anterior" (Cachim, 2007)



Ilustração 73 - Ligação "dente anterior" entre asna e viga

Apesar do difícil acesso à área em questão, foi possível obter algumas fotografias da asna de cobertura, através do levantamento das telhas, exemplificado na Ilustração 74.



Ilustração 74 - Vista geral da asna de cobertura

4.4.1.2. Madres

As madres são elementos dispostos perpendicularmente às asnas (Ilustração 75), servindo como suporte para assentar os barrotes de cobertura (varas). Estas têm como função estrutural estabelecer a ligação entre asnas, bem como transmitir os esforços provenientes dos barrotes de cobertura às asnas. Em termos de dimensões, estas apresentam uma secção transversal de 90 x 180 mm².

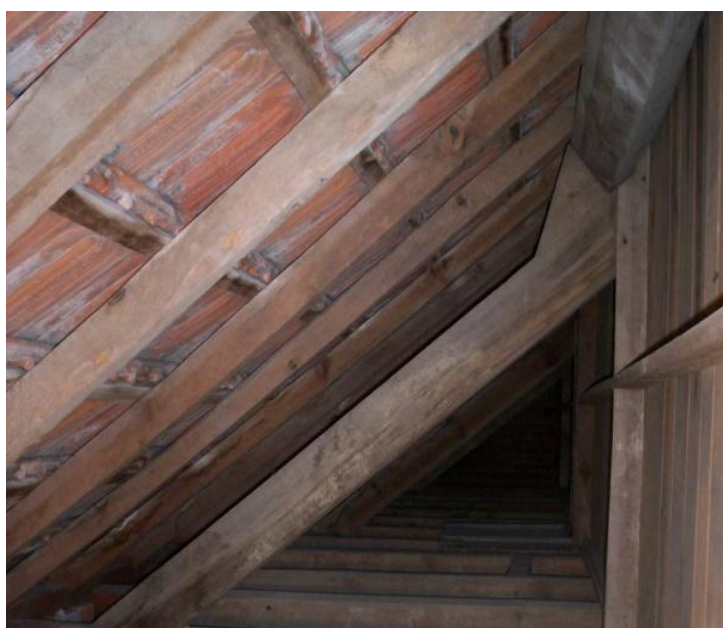


Ilustração 75 - Madre de cobertura

Ligação

Em termos de conexão entre madre e asna, tal como é visível na Ilustração 76, utilizou-se um calço triangular, que se encontra ligado à asna através dum conector metálico (prego).

Calço Madre



Asna

Ilustração 76 - Ligação entre a asna e madre

4.4.1.3. Barrotes de cobertura (varas)

Os barrotes de cobertura encontram-se apoiados na madre de cobertura (Ilustração 77), espaçados entre si cerca de 0,55 a 0,60 m. A sua função estrutural consiste em transmitir as cargas provenientes das telhas cerâmicas para as madres de cobertura.



Ilustração 77 - Barrotes de cobertura

Com a Ilustração 78 é possível verificar a distribuição das asnas em toda a cobertura.

Mapa de barrotes de cobertura (varas)

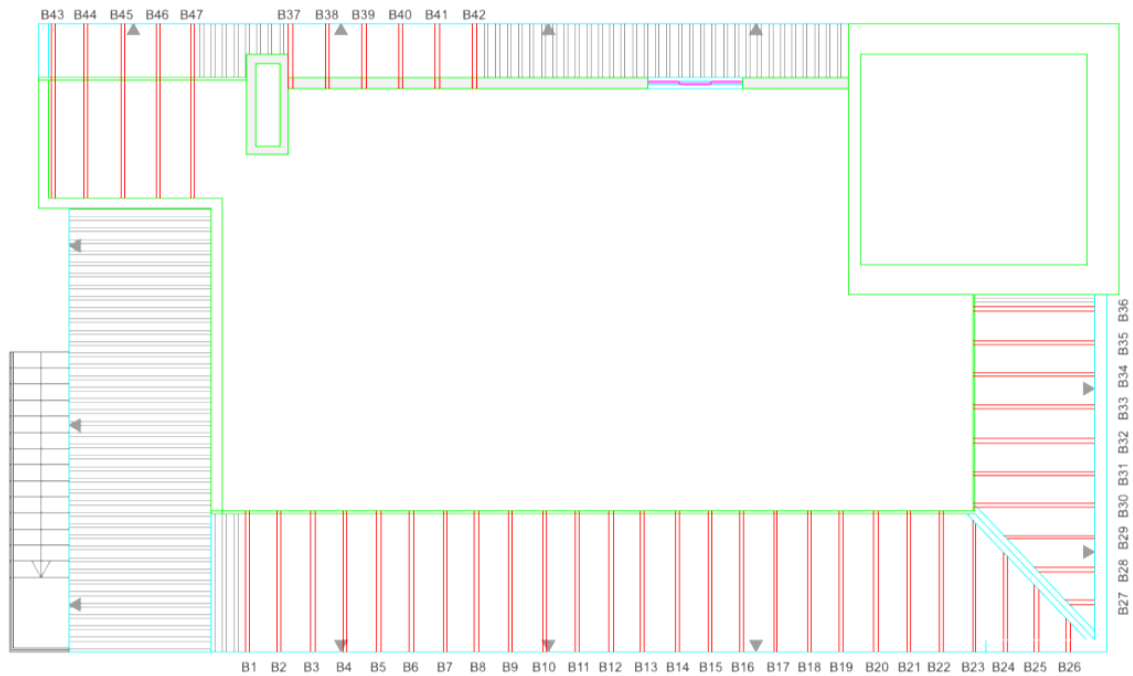


Ilustração 78 – Identificação dos barrotes de cobertura (varas)

O que é pretendido, com a Tabela 2, é apresentar de forma resumida as características dos elementos estruturais em questão possíveis de levantar.

Tabela 2 - Dimensões dos barotes de cobertura (varas)

Elemento	Secção transversal		Inclinação (°)
	b (mm)	h (mm)	
B1	78	80	40
B2	58	80	
B3	70	80	
B4	65	85	
B5	75	75	
B6	60	85	
B7	60	80	
B8	60	80	
B9	70	80	
B10	70	80	
B11	70	80	
B12	60	85	
B13	60	85	
B14	65	85	
B15	70	85	
B16	70	80	
B17	60	85	
B18	70	85	
B19	60	75	40
B20	70	80	
B21	70	80	
B22	70	80	
B23	70	80	
B24	75	80	
B25	70	80	
B26	65	75	
B27	70	75	
B28	75	80	
B29	70	80	
B30	70	85	
B31	70	80	
B32	65	80	
B33	75	80	
B34	65	85	
B35	70	80	
B36	70	75	
B37	75	85	
B38	65	75	
B39	60	85	
B40	75	80	
B41	70	80	
B42	70	75	

Ligação

Relativamente à entrega dos barrotes de cobertura no frechal, esta é feita através duma ligação tradicional. Nesta ligação, representada na Ilustração 79 e Ilustração 80, o nó de encontro utilizado denomina-se por “dente simples posterior”.

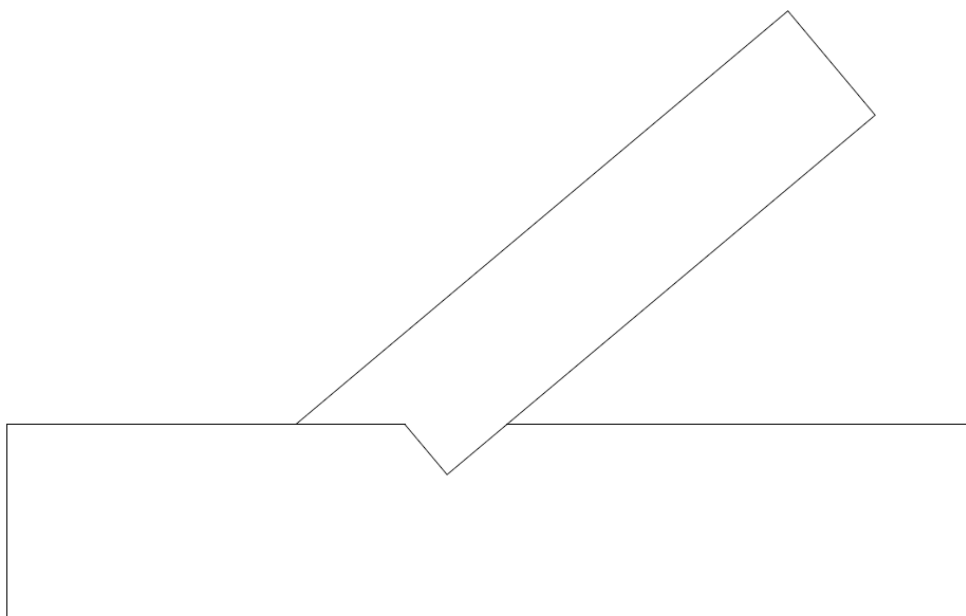


Ilustração 79 - Ligação por entalhe do tipo "dente simples posterior"



Ilustração 80 - Ligação “dente posterior” entre barrote de cobertura e frechal

4.4.1.4. Ripas

Elemento estrutural, com uma secção transversal média de 40x20 mm², assente perpendicularmente aos barrotes de cobertura (Ilustração 81), servindo de suporte ao revestimento da cobertura – telhas cerâmicas - e transferindo o esforço proveniente das mesmas para os barrotes de cobertura.



Ilustração 81 - Ripas assentes nos barrotes de cobertura

Relativamente à ligação das ripas com a restante estrutura, as mesmas encontram-se pregadas aos barrotes de cobertura, encontrando-se espaçadas entre si cerca de 400 mm.

5. CARACTERIZAÇÃO DAS ANOMALIAS OBSERVADAS

Neste capítulo será abordado um dos primeiros exercícios realizados na sede InovaDomus, que teve como objetivo a obtenção de um conhecimento mais detalhado da Casa de Santo António por meio de observação. Todas as anomalias encontradas foram caracterizadas de modo a que através dos resultados obtidos neste levantamento seja possível fundamentar o sistema de monitorização a ser aplicado.

Este levantamento foi realizado em todos os compartimentos do edifício, nas zonas acessíveis da cobertura, ao exterior do edifício e foi ainda feita uma avaliação do estado de nivelamento dos pavimentos com vista a verificar a existência de deformações no mesmo.

O pretendido neste capítulo é apresentar, de forma sucinta, a caracterização do estado global do edificado no que ao nível de anomalias encontradas diz respeito, assim como as anomalias que irão condicionar o sistema de monitorização implementado.

Esta é aliás uma parte essencial, uma vez que para proceder a intervenções de manutenção ou reabilitação é necessário ter um conhecimento profundo das condições nas quais o edificado se encontra.

5.1. Levantamento de anomalias

De um modo geral é possível afirmar que o edifício se apresenta em bom estado de conservação, apesar de ter sido submetido a uma intervenção que alterou de forma significativa a composição interior do mesmo, potenciando a ocorrência de anomalias estruturais.

5.1.1. Piso 0

Relativamente ao piso 0, não foram encontradas aqui anomalias estruturais importantes ou que gerem grande preocupação. Foram apenas verificadas fissuras sem grande expressão ao nível das padieiras ou fissuras na ligação entre as paredes e o teto. Na Ilustração 82 e Ilustração 83 são apresentados exemplos das respetivas anomalias referidas anteriormente.



Ilustração 82 - Fissuração ao nível da padieira no compartimento C3_0

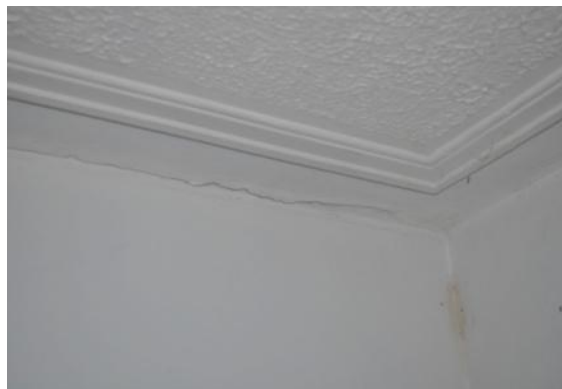


Ilustração 83 - Fissura na ligação entre as paredes e o teto no compartimento C1_0

Existe, no entanto, uma fissura que merece ser acompanhada com maior cuidado, visto ser resultado direto das alterações realizadas ao nível do piso térreo. Trata-se de uma fissura existente na parede concebida aquando da criação dos espaços comerciais, separando o compartimento C8_0 do compartimento C9_0.

A ocorrência desta fissura requer bastante atenção na fase de monitorização, na medida em que leva a entender que os reforços estruturais colocados, bem como a própria parede não foram suficientes para suportar o peso proveniente do piso superior (piso 1). A fissura em questão, apresentada na Ilustração 84, trata-se de uma fissura longitudinal com abertura de 0,5 mm, que apresenta um desenvolvimento inicialmente vertical, sendo que a cerca de 50 cm de distância do teto se começa a deslocar para o interior da parede.



Ilustração 84 – Fissuração da parede que separa os compartimentos C8_0 e C9_0

5.1.2. Piso 1

No piso 1 verifica-se a ocorrência de um tipo de fissuras característico, sendo que esta situação resulta também das alterações efetuadas ao nível do piso 0. Estas alterações originaram o assentamento do pavimento do piso 1 na direção das vigas de pavimento, levando à separação de todas as paredes paralelas às mesmas e originando uma simetria no que ao desenvolvimento das fissuras diz respeito. Como resultado, a parte superior das paredes ficou “agarrada” às paredes de fachada laterais, enquanto que a parte inferior acompanha a deformação do pavimento, levando ao aparecimento de fissuras. As fissuras caracterizam-se por serem longitudinais, trespassantes, com desenvolvimento diagonal e dividindo a parede em duas partes, tendo início no canto superior - próximo do centro da casa - e terminando no canto inferior oposto, tal como é visível na Ilustração 85 e Ilustração 86.



Ilustração 85 – Fissura diagonal característica do piso 1 – C1_1



Ilustração 86 - Fissura diagonal característica do piso 1 – C2_1

5.1.3. Piso 2

O piso 2 trata-se de um piso composto por madeira, exceto no torreão – compartimento C1_2. Enquanto nos compartimentos compostos por madeira não foram verificados qualquer tipo de anomalias, o compartimento C1_2 apresenta fissuração ao nível da padieira da porta de entrada no compartimento, bem como fissuração generalizada do teto, apresentadas na Ilustração 87 e Ilustração 88.



Ilustração 87 - Fissuração ao nível da padieira no compartimento C1_2



Ilustração 88 - Fissuração generalizada do teto do compartimento C1_2

5.1.4. Cobertura

Relativamente à cobertura, nem todas as zonas da mesma são acessíveis, pelo que a Ilustração 89 apresenta, a vermelho, as zonas onde foi possível realizar a inspeção.

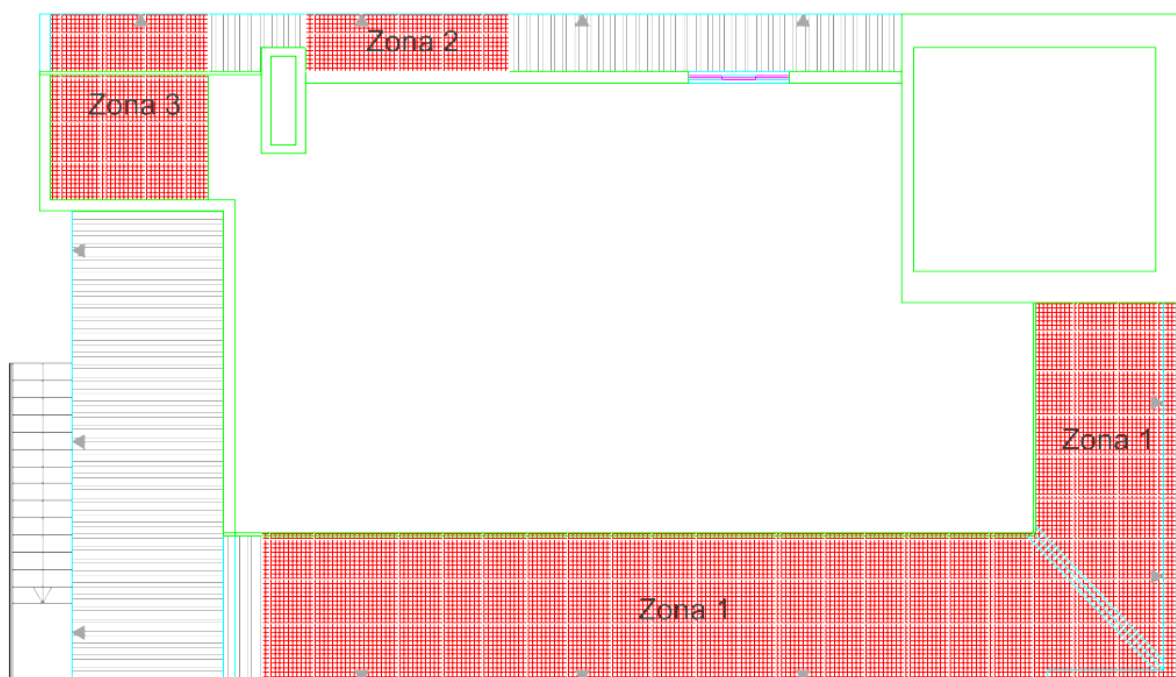


Ilustração 89 - Identificação das zonas inspecionadas na cobertura

Tratando-se de uma cobertura inclinada antiga, é natural que todos os elementos constituintes da mesma sejam em madeira. Esta situação faz com que o levantamento das patologias estruturais encontradas na cobertura se resumisse a uma inspeção do estado de conservação dos mesmos elementos.

O teor em água é o elemento que mais influencia a deterioração da madeira, sendo que cada organismo deteriorador tem requisitos específicos de humidade:

- Situação de imersão (fungos e bactérias de podridão mole);
- Situação de secura (térmitas da madeira seca e carunchos);

Como tal, é possível prever que os elementos existentes no edifício estarão somente sujeitos ao segundo tipo de organismos – térmitas, formigas-carpinteiro e carunchos – resultando na criação de galerias e consequente descascamento da sua superfície. Existe porém a possibilidade do nível de intrusão ser mais elevado do que o expectável, colocando em causa as características mecânicas da peça. Esta foi na verdade a linha de raciocínio que conduziu esta inspeção. Apesar de terem sido encontradas algumas vigas com indícios de ataques de insetos (Ilustração 90), não foi encontrado nenhum ponto onde o nível de intrusão tivesse sido suficientemente elevado a ponto de colocar em risco o desempenho dos respetivos elementos.



Ilustração 90 – Ataques de insetos ocorridos numa viga da cobertura

5.1.5. Exterior – Paredes de fachada

Por último, a análise efetuada às quatro fachadas do edifício permitiu concluir que o mesmo não apresenta qualquer tipo de anomalias estruturais. De facto, apesar de todas as alterações às quais a casa foi submetida, as quatro fachadas mantêm-se bem conservadas.

5.2.Avaliação do estado de conservação

Em jeito conclusivo e após o levantamento exaustivo das patologias do edifício, foi possível constatar que o mesmo não apresenta danos estruturais graves que coloquem em causa a sua integridade.

No entanto, é importante realçar a presença de fissuras ao nível do piso intermédio, resultantes do assentamento ocorrido no pavimento deste mesmo piso. Estas fissuras são trespassantes, com uma abertura significativa e apresentam-se simetricamente distribuídas em relação ao corredor central – o que as torna, em termos de monitorização, as mais interessantes de acompanhar e controlar.

Relativamente à estrutura da cobertura, as patologias encontradas na mesma não aparentam ser de ordem estrutural, indiciando que a estabilidade da mesma não se encontra afetada. No entanto, existem algumas patologias que a longo prazo poderão gerar um nível de degradação elevado e colocar em causa a resistência mecânica de alguns elementos e, conseqüentemente, afetar a segurança/estabilidade da cobertura.

6. PLANO DE CARACTERIZAÇÃO E MONITORIZAÇÃO COMO SUPORTE À REABILITAÇÃO E FUTURA MANUTENÇÃO

O plano de caracterização e monitorização surge agora como resultado do conhecimento adquirido com as análises descritas nos dois capítulos anteriores, relativas à caracterização estrutural e caracterização das anomalias do edificado. Esta metodologia vai, então, ao encontro do que é pretendido pela InovaDomus com este projeto – uma reabilitação fundamentada.

Segundo o estado atual da Casa de Santo António foi definido um plano que visa acompanhar e, quando necessário, reajustar todos os parâmetros que se considerarem como relevantes no funcionamento adequado do edificado. Este funcionamento, que se considera adequado, abrange várias vertentes, desde a componente estrutural à salubridade do edifício. No entanto, é importante referir que, no presente plano de monitorização, foi englobado um conjunto de ensaios – a sua maior parte são do tipo não destrutivos, evitando ações intrusivas na estrutura e garantindo a preservação deste património - que visou auxiliar o diagnóstico estrutural e assim obter uma análise mais detalhada do edificado, cuja metodologia e resultados se encontram apresentados nos capítulos 3 e 4 da presente dissertação (vd. supra 20 - 24 e 40 - 44).

No entanto, e apesar de a maior parte dos ensaios descritos anteriormente já terem sido realizados, prevê-se que parte dos mesmos virá a ser realizada novamente de acordo com o comportamento futuro do edifício, ou após as diversas intervenções às quais o mesmo vai estar sujeito.

Este capítulo encontra-se, então, dividido em três grupos, sendo que cada um deles reúne uma bateria de ensaios que visam caracterizar um determinado aspeto do edifício:

- Ensaio de caracterização geral;
- Ensaio de caracterização estrutural;
- Ensaio de caracterização dos materiais estruturais.

6.1. Ensaios gerais

Com a instalação dos sensores necessários para a medição dos parâmetros a seguir apresentados, pretende-se obter informação acerca do comportamento global do edifício através da medição de grandezas globais.

Estes sensores funcionarão de forma contínua (excetuando os ensaios de caracterização acústica e o varrimento laser), sendo possível obter resultados a qualquer instante. Relativamente à forma como será feita a medição destes parâmetros, a mesma ainda não se encontra definida, sendo que várias opções se encontram em discussão. Por se tratar de um projeto inovador cujo objetivo é obter este tipo de informação sem interferir com o normal funcionamento da casa, as várias opções em estudo baseiam-se em tecnologia wireless, facilitando de sobremaneira a obtenção de dados bem como própria implementação do sistema de monitorização.

De seguida são apresentados os vários parâmetros de medição previstos relativos a este grupo assim como os ensaios realizados de forma global relativamente à estrutura:

- Temperatura;
- Humidade;
- Caracterização acústica;
- Qualidade do ar;
- Varrimento Laser (Laser scanner);
- Câmara termográfica.

De seguida é feita uma breve descrição dos ensaios apresentados neste subcapítulo e também definido, de forma geral, os elementos/locais a ensaiar.

Temperatura

O ensaio permite obter informações acerca da temperatura ambiente. Este sensor trabalha de forma contínua e regista o diferencial de temperatura sentido em cada um dos compartimentos do edifício com o mesmo parâmetro registado no exterior.

Humidade

Este ensaio é idêntico ao ensaio de medição de temperatura, trabalhando de forma contínua e registando o diferencial de humidade entre cada um dos compartimentos com o exterior.

Caraterização acústica

Este ensaio permite obter informações acerca do comportamento do edifício em termos acústicos. Deste modo, recomenda-se a realização do mesmo em todos os compartimentos, com vista a poder determinar a eficiência das paredes, quer interiores quer exteriores.

Qualidade do ar

Deve ser efetuada a avaliação periódica e de vários parâmetros ambientais. Neste contexto deverão ser avaliados os seguintes parâmetros:

- Partículas suspensas no ar (PM10);
- Dióxido de Carbono (CO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Ozono (O₃);
- Formaldeído;
- Compostos orgânicos voláteis (COV's);
- Radão;
- Bactérias;
- Fungos;
- Legionella.

Relativamente aos ensaios de medição de *temperatura*, *humidade*, *caraterização acústica* e da *qualidade do ar*, na Ilustração 91, Ilustração 92 e Ilustração 93 é apresentada a proposta para a realização dos mesmos.

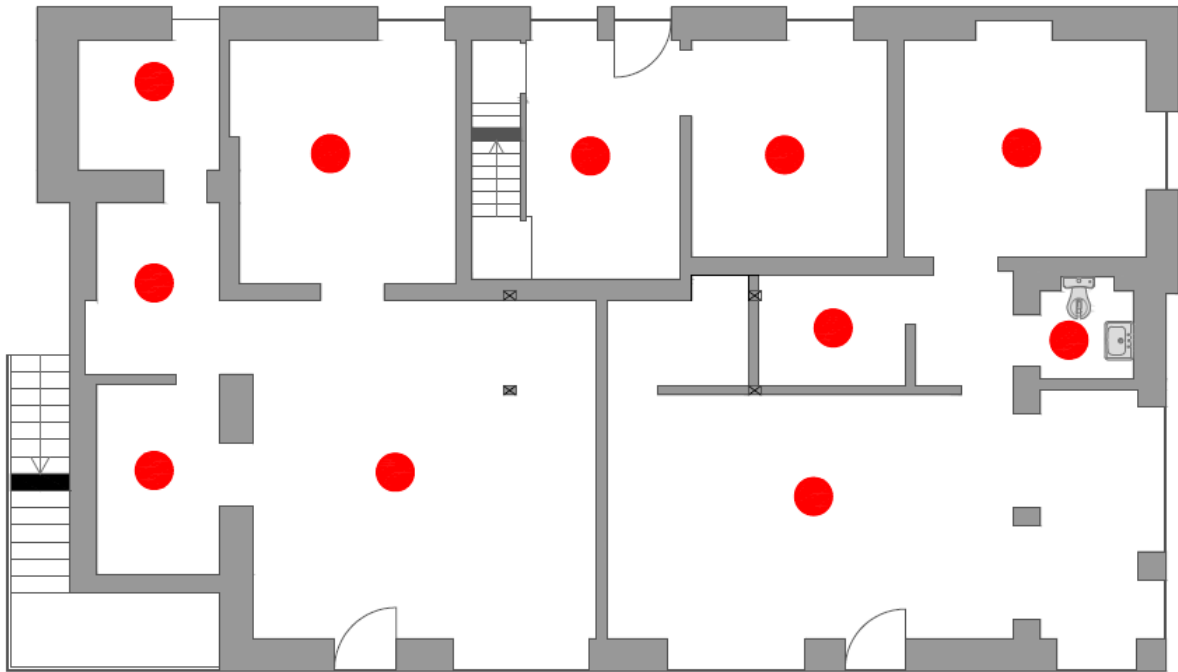


Ilustração 91 - Identificação dos pontos de ensaio no piso 0

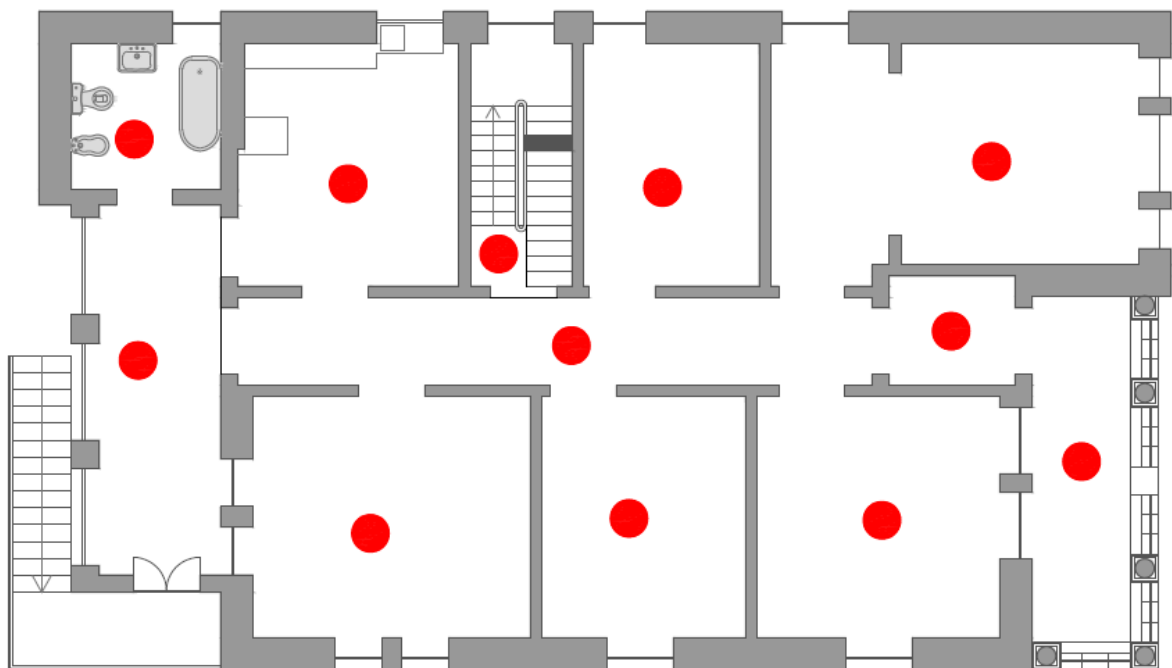


Ilustração 92 - Identificação dos pontos de ensaio no piso 1

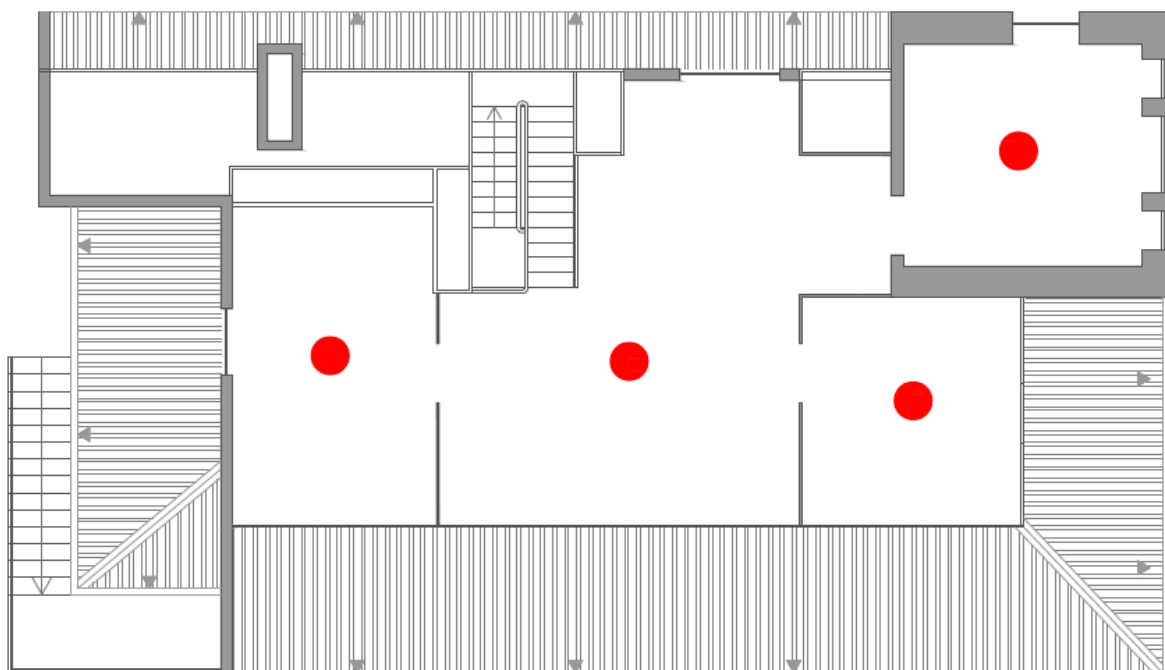


Ilustração 93 - Identificação dos pontos de ensaio no piso 2

Varrimento laser

Através desta técnica, é possível obter o levantamento estrutural e arquitetónico do edificado.

Câmara termográfica

As câmaras termográficas permitem identificar anomalias e pontos fracos em edifícios rapidamente e sem danos. Estas câmaras permitem a apresentação da humidade de superfície para a rápida localização de condensados em edifícios. Áreas com perigo de aparecimento de condensados são imediatamente apresentadas na câmara termográfica através da entrada de condições ambiente. Até mesmo as mais pequenas diferenças de temperatura podem ser identificadas com a elevada resolução de temperatura destas câmaras.

Com este ensaio é possível identificar perdas de energia em paredes e portas exteriores, estores, caixilharia e telhado.

O aumento da humidade ou a água penetrante devido a um deficiente sistema de drenagem podem causar humidade nas paredes sendo que estas humidades poderão ser avaliadas através de imagens termográficas.

De uma forma sucinta, recomenda-se que sejam feitas imagens termográficas em todo o interior do primeiro e segundo pisos, principalmente junto às paredes de fachada.

6.2. Ensaios de caracterização estrutural

A realização destes ensaios permite obter um conhecimento mais aprofundado do edifício relacionado com o comportamento global do mesmo enquanto estrutura.

De seguida são apresentados vários ensaios propostos com vista à obtenção de um conhecimento intensivo da estrutura:

- Caracterização geotécnica;
- Determinação de frequências com acelerómetro;
- Ensaio de carga;
- Prospecção geofísica por Georradar.

Seguidamente é apresentada uma breve descrição dos ensaios numerados neste subcapítulo, bem como a identificação dos pontos onde os mesmos serão realizados.

Poços de Inspeção às fundações

Este ensaio foi o último a ser definido. Por se tratar de um ensaio destrutivo, a decisão da sua realização foi bastante ponderada, tendo resultado da falta de informação acoplado à extrema necessidade da mesma no que ao nível das fundações diz respeito. Tal como referido no capítulo 3 (página 24), houve a preocupação de respeitar as seguintes condições na definição dos pontos de inspeção:

1. Evitar realizar sondagens em locais com revestimento mais nobre;
2. Procurar obter representatividade dos vários membros:
 - a) Paredes interiores/ exteriores;
 - b) Paredes não alteradas/ alteradas.

Na Ilustração 94 é apresentada uma planta onde está identificada a exata localização dos poços de sondagem realizados.

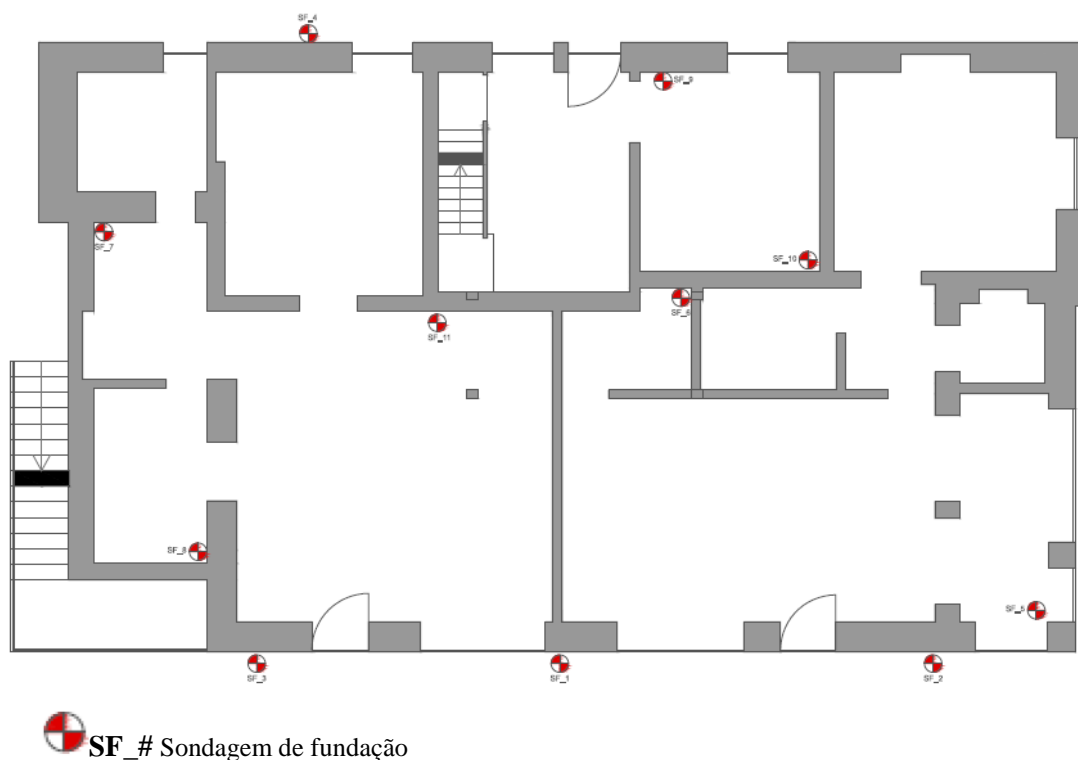


Ilustração 94 - Planta do piso térreo com representação de sondagens

Determinação de frequências com acelerómetro

Com a monitorização através de uma rede de acelerómetros sobre uma estrutura é possível determinar as frequências e os modos próprios de vibração. Através dos resultados de uma análise dinâmica é possível definir um modelo de simulação numérica que poderá permitir estimar as características mecânicas da estrutura, a sua integridade e eventuais pontos com maior debilidade estrutural. Na Ilustração 95 e Ilustração 96 é apresentada a proposta de realização deste ensaio nos pisos 1 e 2.

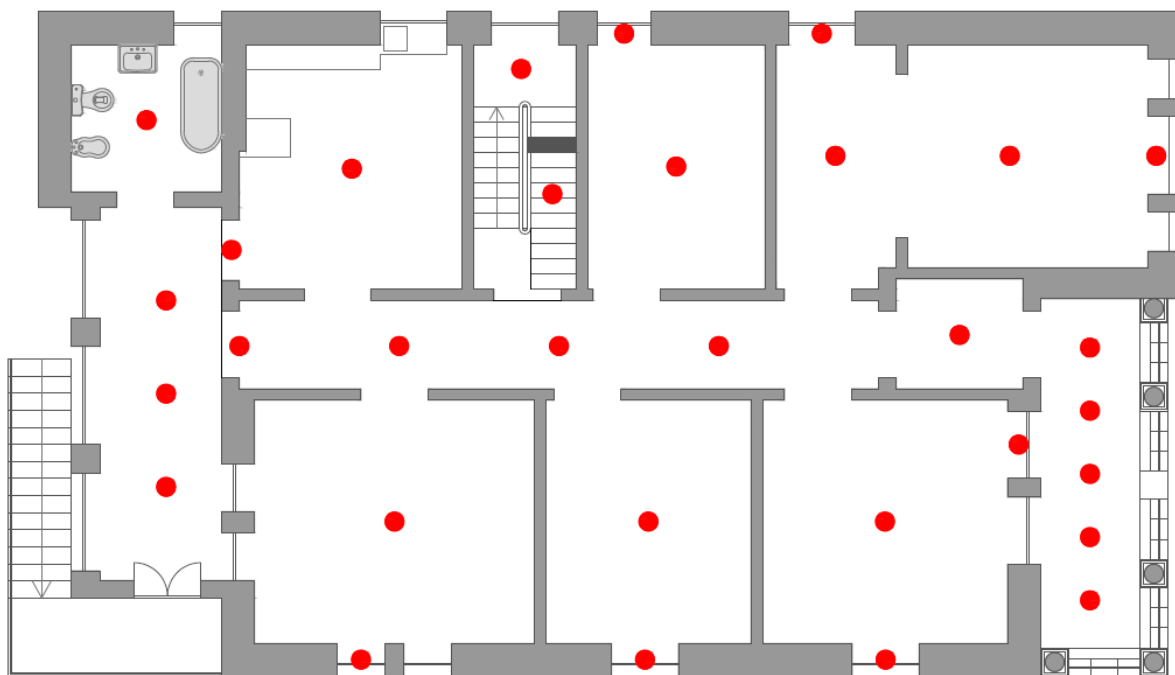


Ilustração 95 – Identificação dos pontos de ensaio de avaliação de frequências com acelerómetro. Piso 1

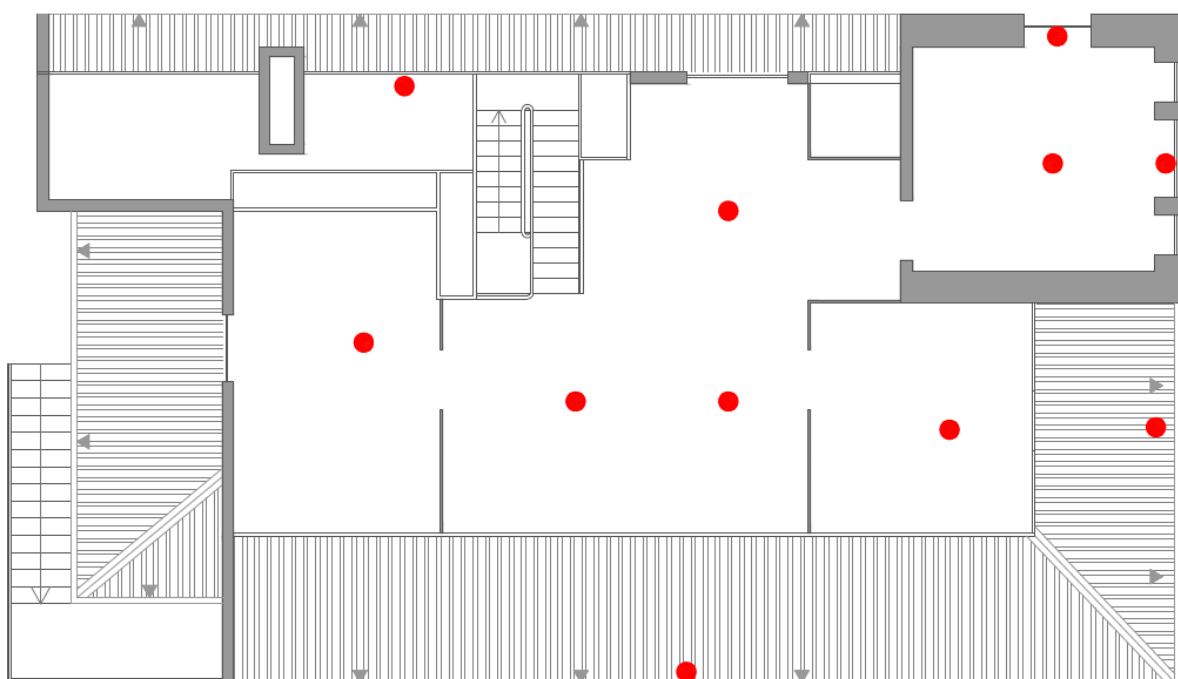


Ilustração 96 - Identificação dos pontos de ensaio de avaliação de frequências com acelerómetro. Piso 2

Tal como representado na Ilustração 95 e Ilustração 96, a avaliação de frequências das alvenarias deverá ser executada sobre os parapeitos das janelas (por motivos de desimpedimento destes) ou se possível sobre as paredes de fachada ao nível da cobertura.

Os ensaios ao centro dos vãos livres dos compartimentos permitirão avaliar o nível de vibrações dos pavimentos, permitindo desta forma correlacionar os resultados obtidos com as condições atuais de conforto normativas.

Ensaio de carga

Os ensaios de carga consistem no carregamento de uma estrutura por patamares de carga e na medição, em simultâneo, da sua deformação. Estes ensaios vão permitir identificar o comportamento do pavimento para diferentes condições de carga e descarga, fornecendo informação relativamente a deformações e assentamentos dos apoios, por patamar de carga atuante. A leitura dos resultados permite avaliar o estado e a capacidade de carga de uma estrutura.

Propõe-se a realização deste ensaio nos pavimentos de ambos os pisos.

Prospecção geofísica por georradar

Este ensaio permitiria, em primeiro lugar, identificar o material constituinte da alvenaria. Permite ainda detetar defeitos e heterogeneidades na estrutura bem como a localização de armaduras.

Propõe-se a realização do mesmo em diversos pontos da alvenaria, quer em zonas padrão, quer em zonas que aparentem apresentar defeitos ou que tenham sofrido intervenções. Sugere-se ainda a realização deste ensaio nos diversos pavimentos.

6.3. Ensaios de caracterização dos materiais estruturais

A casa de Santo António é composta por dois pisos e um sótão, onde quatro materiais estruturais se distinguem, sendo eles a alvenaria de tijolo, a madeira, o betão e o aço.

Os ensaios abaixo propostos (tabela 2), irão produzir informação acerca do comportamento destes materiais estruturais e, conseqüentemente sobre o comportamento global da estrutura.

De seguida são apresentados os vários ensaios, de acordo com o material estrutural no qual serão aplicados:

Madeira:

- Resistógrafo;
- Pilodyn;

- Ultra-sons;
- Determinação da massa volúmica por raios gama;
- Identificação da espécie de madeira;
- Deteção acústica de Insetos xilófagos;
- Dendrocronologia;
- Termografia.

Alvenarias:

- Macacos Planos;
- Caraterização das argamassas;
- Ultra-sons;
- Medição de fissuras.

Betão armado:

- Esclerómetro;
- Pacómetro;
- Ultra-sons.

Seguidamente é feita uma breve descrição dos ensaios apresentados neste subcapítulo e também definido, de forma geral, os elementos/locais a ensaiar.

Resistógrafo

Este tipo de ensaio seria importante pois permitiria determinar algumas características mecânicas da madeira bem como avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais. Tem ainda a particularidade de identificar eventuais degradações, podridões ou mesmo vazios internos existentes na secção ensaiada.

Para o estudo em causa propõe-se que seja feita uma avaliação aos elementos de madeira de todo o edificado, nomeadamente nas zonas assinaladas na Ilustração 97 e Ilustração 98.

A estratégia passou pela marcação dos pontos em zonas “protegidas” de humidades (zonas centrais dos espaços apresentados) e em zonas propícias a maiores concentrações de humidades e respetivamente maiores podridões nos elementos de madeira (elementos junto a paredes de fachada). Recomenda-se, para realização dos ensaios ao nível do pavimento do

piso 1, o aproveitamento das aberturas circulares existentes ao nível do teto do piso térreo, permitindo assim localizar elementos estruturais tais como barrotos de pavimento e tarugos.

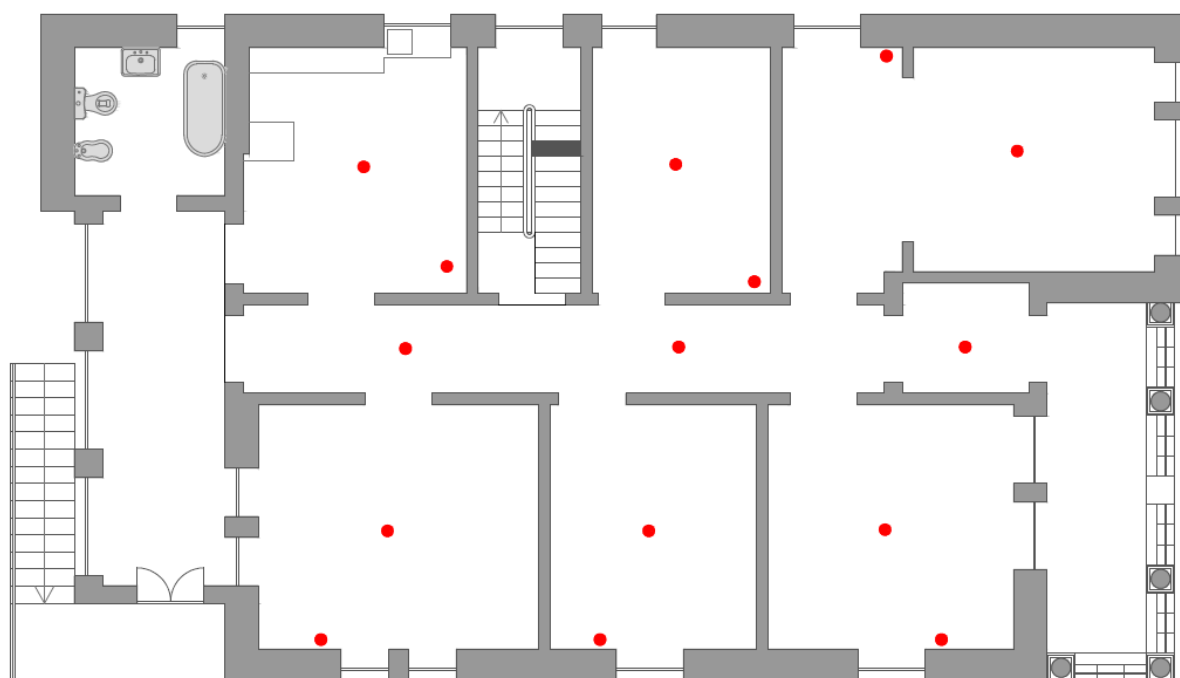


Ilustração 97 - Identificação dos pontos de ensaio com Resistógrafo. Piso 1



Ilustração 98 - Identificação dos pontos de ensaio com Resistógrafo. Piso 2

Além dos pontos assinalados na Ilustração 98, será também recomendado uma avaliação em alguns elementos de suporte da cobertura, nomeadamente às asnas e madres junto aos apoios e numa zona mais próxima do meio vão destes elementos.

Higrómetro

O teor de humidade superficial da madeira é medido eletronicamente através de um pilodyn que possui agulhas (elétrodos) que são espetadas na superfície da madeira. Com este equipamento é possível identificar a concentração de humidade superficial nestes elementos. A presença excessiva de humidade em elementos de madeira (estruturais e não estruturais) é uma das causas principais de degradação estética e funcional destes elementos. A monitorização, ou o controlo do teor de humidade permite evitar ou corrigir as condições existentes no local eventualmente propícias ao desenvolvimento de agentes bióticos (caruncho, térmitas, fungos, etc...) que aceleram a degradação da madeira. Com estes ensaios será possível estimar se os níveis de humidade existentes na madeira então normais.

A humidade superficial da madeira deverá ser avaliada nos locais onde se realizaram os ensaios com o resistógrafo.

Ultra-sons (madeiras)

Os ultra-sons consistem em ondas acústicas de alta-frequência, acima da gama audível. Devido à forte atenuação das ondas na madeira, as frequências utilizadas são baixas, variando entre os 20 e os 500 Hz (Cachim, 2007). Este ensaio tem como finalidade a deteção de defeitos no interior da peça, calculados através do tempo percorrido pela onda entre os dois transdutores. Propõe-se a realização deste ensaio nos locais onde forem realizados o ensaio com o resistógrafo bem como em locais que aparentem ter sido alvo de ataques de insetos. Como tal, a localização dos mesmos estará dependente dos resultados obtidos com as armadilhas, armadilhas essas que foram colocadas em potenciais zonas de existência de térmitas.

Determinação da massa volúmica por raios gama

Permitir-nos-ia determinar a massa volúmica dos elementos de madeira e, conseqüentemente, obter uma ideia da resistência mecânica dos elementos, visto que os dois parâmetros estão relacionados. A realização deste ensaio será efetuada quantas as vezes que forem identificadas existências de insetos em elementos de madeira.

Desta forma, será possível obter as características do tipo de madeira associado em condições normais e em situações de ataque fúngico, permitindo determinar o efeito dos mesmos nas características mecânicas do elemento em questão.

Identificação da espécie de madeira

A identificação das madeiras é uma tarefa difícil que requer mão-de-obra especializada, resultado da enorme diversidade existente de espécies, da semelhança que ocorre entre algumas espécies e da multiplicidade de nomes vernáculos e comerciais, que nem sempre correspondem à mesma designação científica.

Visto que as características mecânicas da madeira variam significativamente mediante a espécie em causa, torna-se importante proceder à identificação das espécies existentes no edificado. Como tal, propõe-se a identificação de todos os diferentes elementos de madeira (vigas, pavimentos, tarugos, entre outros).

Deteção acústica de insetos xilófagos

Este ensaio permite detetar a emissão acústica associada à atividade de insetos xilófagos (carunchos e térmitas) quando estes estão a trabalhar. Consiste na colocação de detetores acústicos que funcionam na gama audível (100 a 25000 Hz), transmitindo o sinal a um módulo de receção amplificado e filtrado que limita a banda de frequência a um intervalo entre os 1 KHz e os 20 KHz. O sinal é digitalizado, podendo ser posteriormente comparado com outros sinais padrão em condições controladas. O sistema consegue detetar atividade numa mesma peça a uma distância de até 2 metros e pode ser bastante útil como sistema complementar no tratamento. A análise do sinal tem ainda a particularidade de conseguir diferenciar a atividade dos insetos de outros ruídos, tais como a presença de roedores (Cachim, 2007).

Termografia

A termografia consiste na conversão da energia infravermelha emitida por um objeto para temperatura, apresentando como resultado uma imagem com a distribuição de temperatura no objeto. Como a densidade da madeira diminui se sofrer deterioração biológica, resultado da criação de vazios, este ensaio torna-se bastante interessante pois permite determinar esses mesmo ataques biológicos bem como a existência de nós. Desta forma, a localização dos pontos onde este ensaio será realizado estará dependente dos resultados obtidos com as armadilhas.

Macacos planos

A técnica dos macacos planos permite a avaliação do estado de tensão e das características mecânicas de estruturas de alvenaria. Esta técnica, considerada semi-destrutiva, apresenta-se sob duas formas: ensaio simples e ensaio duplo.

O ensaio simples permite determinar o estado de tensão instalada num ponto da estrutura.

O ensaio duplo permite traçar as curvas de comportamento da alvenaria (tensão vertical em função da deformação vertical e horizontal da alvenaria) e, deste modo, estimar o seu módulo de elasticidade e, conseqüentemente, a capacidade resistente.

Não é definido um mapa localizador de ensaios de macacos planos, pois sendo este um ensaio semi-destrutivo, a sua realização depende de eventuais paredes que venham a ser removidas.

Caraterização das argamassas

Deverá ser prevista uma caracterização das argamassas a nível das suas propriedades físicas e químicas. Para uma correta reposição dos rebocos existentes é imprescindível que exista um conhecimento real das propriedades dos materiais existentes pois só dessa forma será possível estabelecer-se uma correta compatibilidade entre os materiais existentes e os aplicados, resultantes das ações de reparação. A realização da caraterização das argamassas estará sempre dependente de um aproveitamento resultante de uma eventual extração/remoção de uma parede do edificado.

Ultra-sons (alvenarias)

Este ensaio apresenta o mesmo procedimento do ensaio de ultra-sons realizado nos elementos de madeira, sendo que no caso das alvenarias permitirá identificar eventuais descontinuidades no interior das paredes.

Propôs-se a realização deste ensaio em vários pontos ao nível das paredes da fachada bem como nas paredes interiores dos pisos 0 e 1.

Medição de fissuras

Através do levantamento de patologias realizado foi possível constatar a existência de diversas fissuras, de maior ou menor expressão, nos vários compartimentos da casa. Deste modo, a monitorização da abertura das mesmas torna-se fundamental.

Propõe-se a monitorização de todas as fissuras detetadas aquando do levantamento de patologias.

Esclerómetro

Este ensaio permitiria obter, *in situ*, a resistência do betão à compressão. Como os valores obtidos seriam representativos de uma camada não superior a 5 cm de profundidade, a resistência obtida refere-se a uma resistência superficial. No entanto, seria um ensaio útil com vista a estimar a homogeneidade do betão bem como dar resposta à necessidade de realizar ensaios mais completos. Visto tratar-se de um ensaio de rápida realização, propõe-se a realização do mesmo em diversos pontos de todos os elementos existentes de betão armado.

Pacómetro

Ensaio bastante útil pois permite obter a localização das armaduras bem como as suas dimensões dentro de elementos estruturais de betão. Tal como proposto no ensaio com esclerómetro, propõe-se a realização deste ensaio em diversos pontos de todos os elementos existentes de betão armado.

Ultra-sons (betão armado)

Tal como na madeira e nas alvenarias propõe-se a realização deste ensaio no betão armado visto que a realização do mesmo permitiria obter uma ideia das classes de betão existentes no edificado. Deste modo prevê-se a realização do mesmo em todos os elementos de betão armado do edifício.

6.4.Plano de monitorização

Este subcapítulo surge como o culminar de um trabalho de análise e investigação aprofundada para a elaboração de um plano que vai auxiliar a monitorização da Casa de Santo António, cujos pressupostos têm por base os resultados obtidos nos ensaios realizados na denominada idade zero do edifício.

No âmbito da caracterização geral do edifício em questão, todos os ensaios são passíveis de voltarem a ser realizados – uns após cada intervenção (caraterização acústica e varrimento laser), outros com uma periodicidade alternável. No caso dos ensaios de temperatura, humidade e qualidade do ar, visto que não se tratam de ensaios de caracterização

estrutural, a periodicidade com que os mesmos serão realizados é algo que de momento não apresenta uma definição exata.

No que diz respeito à caracterização estrutural nem todos os ensaios já realizados na idade zero do edifício vão ser repetidos. O ensaio de determinação de frequências com acelerómetro é uma exceção e realizar-se-á após cada intervenção para verificar o efeito que esta provocou estruturalmente – tal como o ensaio de carga -, e em diversas fases do ano de forma a estudar qual o efeito das variações de temperatura no comportamento da estrutura.

Nos ensaios relativos à caracterização dos materiais estruturais – a madeira, a alvenaria e o betão armado -, a previsão de ensaios futuros referem-se apenas à medição de fissuras nas alvenarias, quer após cada intervenção, quer segundo uma determinada periodicidade. Esta periodicidade pode acontecer tanto sazonalmente, com o propósito de verificar o efeito da temperatura nas dilatações do material, como pontualmente, caso se justifique.

Desta forma é abaixo apresentada uma tabela síntese, criada com o intuito de auxiliar todo o processo de reabilitação, tendo como guia o plano de monitorização definido para a Casa de Santo António.

Tabela 3 – Tabela síntese do plano de caracterização e monitorização

Tipo de ensaio	Ensaio	Objetivo	Periodicidade			
			Pontuais		Contínuos	
			Idade Zero (ensaios de caracterização)	Realizar após cada intervenção	Periodicidade a definir	
Caracterização Geral	Temperatura		X		X	
	Humidade		X		X	
	Caracterização acústica		X	X		
	Qualidade do ar		X		X	
	Varrimento Laser (Laser scanner)	Elaborar a caracterização geométrica	X	X		
	Câmara termográfica	Identificação de humidades e outras anomalias em paredes,...	X	A definir		
Caracterização Estrutural	Caracterização geotécnica		X			
	Det. frequências com acelerómetro		X		X	
	Ensaio de carga		X	X		
	Prospecção com georradar		X			
Caracterização dos Materiais Estruturais	Madeiras	Resistógrafo		X		
		Higrómetro		X		
		Ultra-sons		X		
		Determinação da massa volúmica por raios gama		X		
		Identificação da espécie de madeira		X		
		Deteção acústica de Insetos xilófagos		X		X
		Termografia	Identificar defeitos e ataques em elementos de madeira	X	A definir	
	Alvenarias	Macacos Planos		A definir (em zonas a demolir)		
		Caracterização das argamassas				
		Ultra-sons		X		
		Medição de fissuras		X	X	
	Betão armado	Esclerómetro		X		
		Pacómetro		X		
		Ultra-sons		X		

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação teve como principal objetivo o desenvolvimento de um plano de monitorização a aplicar na casa de Santo António, sede da Associação InovaDomus. O plano de monitorização definido visa auxiliar o processo de reabilitação a que a casa vai ser sujeita, e funcionará como guia orientador, em permanente acompanhamento da evolução dos diversos parâmetros que se consideraram relevantes para o funcionamento adequado do edifício. Este funcionamento compreende, naturalmente, diversas vertentes, englobando problemas inerentes à componente estrutural e à salubridade do próprio edifício.

7.1. Conclusões gerais

A primeira abordagem à Casa concentrou-se no estudo dos elementos desenhados e à história que estes contavam, algo que foi fulcral para o desenvolvimento deste processo. Nesta fase, foi possível perceber *a priori* que o caso de estudo não apresentava a mesma composição.

Todos os ensaios realizados, bem como as diversas análises que deles resultaram, foram fundamentais para a definição de um plano de monitorização sustentado que cumprisse o propósito principal de aproximar – tanto quanto possível – a Casa da sua conceção inicial. O conhecimento aprofundado do passado e do estado atual do caso de estudo revelou-se neste processo uma etapa incontornável. Por este motivo, foi necessário conhecer o comportamento da Casa, entender a sua lógica como elemento arquitetónico, assim como os materiais que a constituem. De facto, para saber quais os ensaios a realizar, foi necessário, numa primeira fase, levar a cabo uma análise detalhada tanto das fachadas, como da planta do piso térreo, uma vez que foram estes os elementos que sofreram mais alterações. Face às dúvidas levantadas pelos resultados desta análise inicial foi proposta a execução dos seguintes ensaios: esclerómetro e pacómetro, assim como a prospeção geofísica com georradar. Com efeito, estes ensaios foram determinantes para o estabelecimento do conhecimento atual da Casa, tanto ao nível estrutural, como dos materiais. O esclerómetro e o pacómetro permitiram a identificação de todos os elementos estruturais em betão armado existentes, enquanto que a prospeção geofísica com georradar possibilitou a identificação dos materiais constituintes de algumas paredes interiores do piso térreo.

A par deste processo de conhecimento da casa como elemento arquitetónico e a sua evolução no tempo, foi necessário para a concretização do objetivo primário – que passa pela definição do plano de monitorização – estabelecer objetivos de natureza mais específica, tais como a caracterização estrutural minuciosa e a caracterização das anomalias observadas. De facto, como resultado do processo de caracterização estrutural do edifício, foi possível conhecer a casa em termos estruturais: o edifício é composto por três pisos, com paredes exteriores e interiores compostas por tijolo vazado, comumente utilizado na altura da edificação. No piso 0, de forma a auxiliar o processo de transmissão de cargas provenientes dos pisos superiores para as fundações, verificou-se a existência de duas vigas compostas por betão armado, dispostas paralelamente entre si e afastadas cerca de 1,4 m, sendo que as mesmas se encontram apoiadas em 4 pilares (dois por cada viga), igualmente constituídos por betão armado. Estas vigas localizam-se no centro do piso 0, acompanhando o corredor central existente no piso superior (piso 1).

Relativamente ao pavimento, este é composto por soalho de madeira assente em vigas de madeira, dispostas paralelamente entre si e espaçadas cerca de 0,6 m. Também a cobertura é constituída por madeira, sendo que a estrutural principal é composta por 5 asnas que descarregam nas vigas de pavimento e, por sua vez, transmitem os esforços para as paredes de fachada. Por último, as sondagens realizadas ao nível das fundações permitiram concluir que as paredes do edificado encontram-se assentes sobre uma viga de fundação com cerca de 22 cm de altura, que por sua vez se encontra assente em blocos de alvenaria de adobe.

Já o processo de caracterização das anomalias permitiu constatar que o edifício não apresenta qualquer tipo de danos estruturais graves que coloquem em causa a sua integridade. No entanto, é importante referir as anomalias verificadas ao nível das paredes interiores do piso 1, visto que as mesmas surgem como consequência das intervenções realizadas ao nível do piso 0 e, desta forma, requerem um acompanhamento aprofundado que decorrerá ao longo do processo de monitorização.

Todas estas ações permitiram, deste modo, apresentar de forma fiel as transformações que o edifício foi sofrendo ao longo do tempo e quais as suas consequências, tanto ao nível estrutural, como ao nível dos elementos interiores. É aliás graças a este registo detalhado que é possível, em muitos casos, relacionar diretamente as anomalias encontradas nos elementos com as alterações realizadas no edificado.

Assim sendo, pode-se concluir que o principal objetivo deste processo foi alcançado. O plano de monitorização é apresentado através de uma tabela síntese de observação e atuação periódicas, cujo propósito é o de sistematizar o processo de reabilitação inovador de

forma não intrusiva. No entanto, gostaria de salientar que a revisão dos parâmetros do plano de monitorização que me proponho realizar será contínua, estando inteiramente dependente das intervenções planeadas e das conseqüentes alterações que os diversos elementos possam vir a sofrer.

7.2. Trabalhos futuros

A implementação de sistemas de monitorização, tal como procurei expor na presente dissertação, apresenta-se como uma ferramenta de extrema utilidade no acompanhamento de estruturas. Trata-se, no entanto, de um processo demorado, pelo que tenho consciência que o trabalho desenvolvido na minha dissertação representa apenas uma pequena parte do trabalho de caracterização de todo o edificado que ainda é necessário prosseguir, de forma a poder implementar o sistema de monitorização de forma estruturada e o mais abrangente possível.

Como tal, de forma a dar continuidade ao sistema de monitorização criado e, conseqüentemente, de forma a auxiliar o processo de reabilitação do edificado, são vários os trabalhos a desenvolver num futuro próximo. Primeiramente, é fundamental dar continuidade à caracterização estrutural do edifício, que consiste na identificação do seu sistema estrutural, dos materiais que o compõem e das respetivas anomalias. Posteriormente, proceder-se-á à monitorização da evolução das anomalias existentes, assim como à realização de medições dos parâmetros de conforto (temperatura, humidade, etc...) pontuais (na idade zero) e contínuos. Em paralelo, deverá ser realizado o acompanhamento de todas as intervenções de reabilitação a serem praticadas no edifício, tendo em atenção a avaliação do impacto nos diversos parâmetros.

Espero que este trabalho tenha sido um contributo válido para o estudo da implementação de sistemas de monitorização no âmbito da reabilitação. Tomando como exemplo o caso particular da casa de Santo António, em Ílhavo, procurei evidenciar as características mais relevantes que integram todas as fases de um processo de monitorização, desde a análise cuidada do edificado – estrutura, materiais constituintes e respetivos problemas – até à implementação *in loco* do próprio plano de monitorização. Não obstante a especificidade das características apresentadas pelo edifício que me propus analisar, acredito que a abordagem adotada na minha dissertação poderá servir de exemplo para a sua conseqüente adaptação e aplicação a outros casos de estudo, incentivando desta forma uma reabilitação cuidada, planeada e conscienciosa, cada vez mais atual no domínio da Engenharia Civil.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. M. N. V. (2000). *Análise do comportamento da Igreja do Mosteiro da Serra do Pilar sob a ação dos sismos*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Antunes, P. F. C. (2011). *Sensores ópticos para monitorização dinâmica de estruturas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Appleton, J. (2003). *Reabilitação de edifícios antigos – Patologias e tecnologias de intervenção*. Edições Orion, Amadora, Portugal, 1ª edição.
- Araújo, F. M. (2000). *Redes de Bragg em fibra óptica*. Tese de Doutoramento em Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Arêde, A. e Costa, A. (2002). *Inspecção e diagnóstico estrutural de construções históricas – algumas contribuições da FEUP*. Em Actas do 1º Seminário “A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação”, 55-88, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Barbosa, C., Costa, N., Ferreira, L. A., Araújo, F. M., Varum, H., Costa, A., Fernandes, C. e Rodrigues, H. (2008). Weldable fibre Bragg grating sensors for steel bridge monitoring. *Measurement science and technology*, **19**(12):1-10.
- Barraca, N. e Almeida, M. (2013). *Prospecção geofísica na casa ReabilitaDomus*. Relatório Técnico, Inov’13, Morph, Coimbra, Portugal.
- Binda, L. e Saisi, A. (2001). *Non destructive testing applied to historic buildings: The case of some Sicilian Churches*. No 3º Seminário Internacional “Historical Constructions”, 29-46, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Cachim, P. (2007). *Construções em madeira – a madeira como material de construção*. Publindústria, Porto, Portugal, 1ª edição.
- Jayant, D. M. (2008). *Health monitoring of civil engineering materials*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Purdue, West Lafayette, Indiana, Estados Unidos da América.
- Lima, H. F., Vicente, R., Nogueira, R. N., Abe, I., André, P., Fernandes, C., Rodrigues, H., Varum, H., Kalinowski, H. J., Costa, A. e Pinto, J. L. (2008). Structural health monitoring of the Church of Santa Casa da Misericórdia of Aveiro using FBG sensors. *IEEE Sensors Journal*, **8**(7):1236-1242.
- Ramalheira, J. M. (s. d.). Fotografia disponível em <http://www.ramalheira.com/>. Acedido em Maio de 2013.
- Valente, A. B. e Brandão, N. (2006). *Monitorização da Igreja da Misericórdia de Aveiro*. Projeto Final de Curso em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.